RAY PUBLISHING & SCIENCE

نظام الإحداثيات المرجعي

والعمليات على الإحداثيات

الدليل الكامل لمحترفي

GIS

يغطي الكتاب المفاهيم النظرية والمواصفات القياسية للإحداثيات و 70 مشروعاً من الدول العربية مع التطبيقات العملية باستخدام:

- ArcGIS 10.0
- AutoCAD Map 3D 2013
- Oracle Spatial 11g R2
- FME Desktop 2012

المهندس سامر الجودي

نظام الإحداثيات المرجعي

والعمليات على الإحداثيات

نظام الإحداثيات المرجعي والعمليات على الإحداثيات: الدليل الكامل لمحترفي GIS

سامر الجودي

الطبعة الأولى 1434 هـ — 2013 م

ISBN 978-9933-13-239-2



الناشر شعاع للنشر والعلوم

حارة الرباط 2 — المنطقة 12 — حي السبيل 2

هاتف 2643546 (21) 963+ تلفاكس 2643545 (21) 963+

ص.ب 7875 حلب، سورية

لمزيد من المعلومات ولشراء كتب الدار مباشرة من إنترنت

يرجى زيارة موقعنا	http://www.raypub.com
البريد الإلكتروني للقراء:	quality@raypub.com
[illegible]	info@raypub.com
البريد الإلكتروني للزبائن:	sales@raypub.com
البريد الإلكتروني لدور النشر:	orders@raypub.com

Mastering Coordinates: The Complete Guide for GIS Professionals

Samer Joudi



Published by Ray Publishing & Science
Hay Al Sabil 2, Sector 12, Al Rabat Avenue 2, P.O. Box 7875, Aleppo, Syria

 First edition 2013
ISBN 978-9933-13-239-2

RAY
PUBLISHING & SCIENCE

نظام الإحداثيات المرجعي

والعمليات على الإحداثيات

المهندس سامر الجودي

شعاع للنشر والعلوم

الإهداء

عندما تفرغ من تأليف كتاب، وتضع قلمك جانباً إيذاناً بانتهاء تلك الرحلة، ستستوقفك هذه الصفحة مليّاً لانتقاء شخص مميّز ترغب في إهداء ثمرة هذا العمل الشاقّ إليه، وستجد حينئذ أن مهمّة الإهداء هذه مهمّة عسيرة، إذ يحضر في ذهنك ذكرُ كل من كان له فضل عليك.

ولعلك تتساءل: أهي الوالدة التي سهرت على تربيتك وغمرتك بحبها ودعائها؟ أم الوالد الذي قارع الحياة من أجلك وغرس فيك كلَّ ما تعتز به من قيم؟ أم الأخوة الذين شاطروك ذكريات الطفولة الجميلة ومرارةَ الحياة قبل حلاوتها؟ أم لعلها الزوجة التي آثرتْك على نفسها ووفّرت لك كل أسباب النجاح حتى تنجح؟ أم هم الذين تعلمتَ منهم، فأنت لا تنسى فضلهم أبداً؛ معلمو المدرسة، وزملاء العمل؟

وفوق ذلك، لم يكن كتابك ليرى النور لولا من كان لك عوناً على إتمامه، أو ألقى نظرة فاحصة فيه، فضلاً عن الناشر الذي لم يدّخر جهداً للعناية به، وهؤلاء يستحقون كلّ الشكر والتقدير....

ومن المتفق عليه أن إهداء الكتاب خيار شخصي جداً، فهو نابع من تجربة المؤلف ليس إلا، إذ يهدي المؤلف كتابه — عادةً – إلى شخص يلحّ ذكره كثيراً في تلك اللحظة، ولذلك:

" أهدي هذا العمل إلى من أفتقده كل يوم ...

إلى والدي الذي أورثني عشق الكتاب

وأهداني مؤلفاته التي لم ينشرها ... "

المحتويات

الفصل 2: المواصفات القياسية للإحداثيات 42

الفصل 3: نظام الإحداثيات المرجعي 70

الفصل 5: العمليات على الإحداثيات 246

هذا الكتاب

التقنيات المكانية (أو الجيومكانية) هي أداة لدعم التخطيط والتحليل واتخاذ القرارات ذات الصلة بالمكان، مثل التخطيط والتطوير العمراني، تخطيط المواصلات، التخطيط البيئي، المشروعات الهندسية، إدارة الأزمات والكوارث، الطاقة وإدارة الموارد والتنقيب عنها، الخ، وتدخل في عدد كبير من التطبيقات، مثل أنظمة ملاحة السيارات، إدارة وتسجيل العقارات، والإحصاء، كما تُستخدم التقنيات المكانية أيضاً في التسويق وتحسين الخدمات المقدمة إلى الزبائن.

لكن المكتبة العربية ما زالت فقيرة من الكتب التي تتناول موضوع التقنيات المكانية، نظراً لحداثة هذه التقنيات من جهة ولأسباب عامة متعلقة بالتأليف والترجمة في العالم العربي، وأما ما يصادفه القارئ من كتب فيجدها في معظم الأحيان – على ما بذل فيها من جهد حميد – إما موجهة للمستخدم المبتدئ فهي لا تشفي غليل المتخصص، وإما مغرقة في الجانب النظري والبراهين الرياضية التي لا تتصل مباشرة باحتياجات العمل اليومي ولا توضح كيفية تطبيق هذه المفاهيم وتحويلها إلى أدوات مفيدة في التحليل والتخطيط، أو أنها تغوص في برنامج واحد بعينه وتأخذ القارئ في رحلة طويلة بين القوائم والأزرار وصناديق الحوار، على طريقة "انتقل إلى القائمة كذا وانقر على الزر كذا"، من غير أن تزوّده بالأساس الذي بنيت عليه هذه الأدوات.

تتفرع التقنيات المكانية إلى موضوعات مختلفة منها:

- **الإحداثيات:** نظام الإحداثيات المرجعي والعمليات على الإحداثيات مثل الإسقاط والتحويل بين المراجع الجيوديسية.
- **البيانات المكانية:** جمعها، وإنشاؤها، وإدارتها.
- **التحليل المكاني:** استخدام التقنيات المكانية في التحليل والتخطيط واتخاذ القرار في القطاعات المختلفة.
- **السياسات والاستراتيجيات** ذات الصلة بالتقنيات المكانية.
- **العلوم والتقنيات المكانية:** نظام المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، التصميم بالحاسوب، النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، المساحة، فن إعداد الخرائط.

ونظراً لتشعّب هذه الموضوعات والحاجة إلى استيفاء مفاهيمها النظرية وتطبيقاتها العملية بالتفصيل، كان لا بد من تناول التقنيات المكانية في كتب منفصلة يغطي كل واحد منها موضوعاً مختلفاً، فيقدّم إلى القارئ خلطة متوازنة من المعلومات النظرية والخبرة العملية التي تساعده على الاستفادة من التقنيات المكانية في زيادة الإنتاجية والتكامل مع عمليات الأعمال في المؤسسة التي يعمل بها،

بالإضافة إلى الاستخدام العملي لمجموعة من البرامج والأنظمة الشائعة بين المستخدمين، ويعرّف المستخدم إلى المواصفات القياسية والاتجاهات الحديثة والسياسات التي ترشد المدير الناجح إلى كيفية إدخال التقنيات المكانية في المؤسسات ووضعها في خدمة أهدافها الاستراتيجية.

يغطي هذا الكتاب موضوع الإحداثيات، وهو موجّه إلى مستخدم التقنيات المكانية لمساعدته على فهم الأساس النظري والتطبيقات العملية لها ويمثل مرجعاً عملياً له للتغلب على مشاكل الإحداثيات ومواءمة البيانات المكانية بحيث يتمكن من إنجاز مهامه اليومية والعمل في المشروعات في مؤسسته بنجاح، ودونما الوقوع في أخطاء ناتجة من عدم درايته بالمفاهيم الأساسية لها، ولذلك يركز الكتاب على التعليمات التقنية لتطبيق هذه المفاهيم، بينما تجيء المعلومات النظرية فيه - وبخاصة ما يتصل منها بالجيوديسيا والجيوفيزياء - مبسطة بغرض إيصال المفاهيم الأساسية دون الغوص في القضايا التخصصية.

وعلى الرغم من أن الموضوعات الأخرى في التقنيات المكانية لا تقل أهمية عن الإحداثيات، بل تتجاوزها أهمية إذا ما نظرنا إلى حاجات العمل اليومية، تبقى الإحداثيات حجر الأساس في جميع العلوم والتقنيات المكانية، إذ تتألف البيانات المكانية من الإحداثيات، وبالتالي تؤدي الأخطاء والفروق في النظام المرجعي للإحداثيات إلى تضارب البيانات المكانية وصعوبات في محاذاتها، ما يؤثر على نتيجة التخطيط والتحليل المكاني اللذين يعتمدان بصورة رئيسية على دقة الموقع وصحة الإحداثيات، بالإضافة إلى حداثة البيانات المكانية وشموليتها.

يغطي الكتاب مقدمة عن التقنيات المكانية وأهمية الإحداثيات فيها، والمواصفات القياسية ذات الصلة بالإحداثيات، والأنظمة المرجعية لها، بالإضافة إلى الإسقاط والعمليات على الإحداثيات، مثل التحويل بين المراجع الجيوديسية أو بين المراجع الرأسية، ويشرح التطبيقات العملية من خلال مشاريع تغطي معظم الدول العربية باستخدام مجموعة من البرامج والأنظمة الأكثر شيوعاً وانتشاراً وهي ArcGIS وAutoCAD Map وOracle Spatial وFME Desktop.

وقد حرصت أثناء تأليف هذا الكتاب على عرض كل ما يحتاج مستخدم التقنيات المكانية إلى معرفته بحيث يغدو الكتاب مرجعه النظري والعملي في الإحداثيات والعمليات عليها، وأرجو أن أكون قد وفّقت إلى ذلك، كما أرجو أن يكون كتابي هذا خطوة أولى نحو تأليف كتب تتناول الموضوعات الأخرى في التقنيات المكانية.

سامر الجودي

samer.joudi@gmail.com

19 صفر 1434 هـ، الموافق 1 كانون الثاني/يناير، 2013 م

الأيقونات المستخدمة في الكتاب

شيء من اللغة



تهدف هذه الفقرة إلى استيقاف القارئ عند المصطلحات المستخدمة في موضوع الإحداثيات، إما لإطلاعه على موضوع في اللغة، أو تعريفه إلى جذور مصطلح ما، أو لتصحيح خطأ لغوي شائع، الخ.

يتضمن المربع كلمة شرق مكتوبة باللغات العربية والروسية والنرويجية واليابانية. وبالمناسبة، أنت تستخدم الكلمة اليابانية to التي تعني شرق، كلما قلت طوكيو، ذلك أن طوكيو تعني العاصمة الشرقية.

انتقلت الكلمة العربية شرق إلى لغات عديدة منها الفارسية والأذرية والأوزبكية والباشكيرية والطاجيكية والترية، كما انتقلت كلمة مشرق إلى السواحيلية والأوردية.

يمكنك الآن أن تقول كلمة شرق بعشر لغات بطلاقة!

السياسات والاستراتيجيات



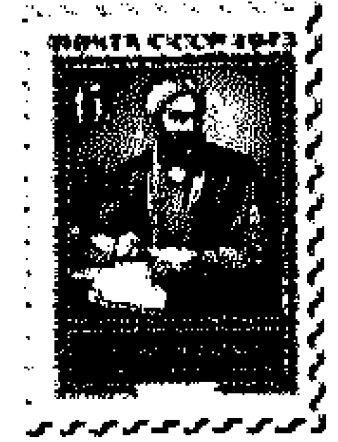
تشير هذه الأيقونة إلى السياسات والاستراتيجيات ذات الصلة بنظام الإحداثيات المرجعي في المؤسسة أو الدولة، وهي إحدى المكونات التي تؤثر في أداء التقنيات المكانية تأثيراً ملموساً، إذ تعزّز السياسات والاستراتيجيات ذات الصلة بنظام الإحداثيات المرجعي قابلية التشغيل المتبادل (interoperability) فتسمح بتدفق البيانات والخدمات المكانية بين الأنظمة والجهات المختلفة، كما تساعد على الاستخدام الفعّال للموارد، وتدعم التعاون والتكامل داخل المؤسسة الواحدة أو بين الجهات داخل الدولة.

خدمات فورية



تتناول فقرة الخدمات الفورية (online) الأدوات المتوفرة على إنترنت ذات الصلة بالإحداثيات والتي يمكن تنفيذها من مستعرض ويب، مثل تحويل الإحداثيات من نظام مرجعي إلى آخر، أو تدل القارئ على بعض البرمجيات المجانية التي يمكن تنزيلها واستخدامها في عمله.

شيء من التاريخ



فقرة "شيء من التاريخ" مخصصة لإطلاع القارئ على إنجازات العلماء العرب والمسلمين في ما له صلة بالإحداثيات وأنظمتها المرجعية.

الطابع البريدي المستخدم للدلالة على فقرة "شيء من التاريخ" هو طابع منشور في الاتحاد السوفياتي في العام 1973 احتفالاً بمرور 1000 عام على ميلاد أبي الريحان البيروني، الذي قاس قطر الأرض بدقة بالغة إلى جانب كثير من الإسهامات الأخرى. هذه الفقرة تشير إلى إنجازات العلماء العرب والمسلمين بصورة عامة وليس البيروني فقط.

البرامج والأنظمة التي يغطيها الكتاب

بالإضافة إلى المعلومات والمفاهيم النظرية، يشرح الكتاب التطبيقات والتعليمات الفنية لتنفيذ هذه المفاهيم باستخدام مجموعة من البرامج والأنظمة الأكثر شيوعاً وانتشاراً وهي ArcGIS وAutoCAD Map و Oracle Spatial وFME Desktop.

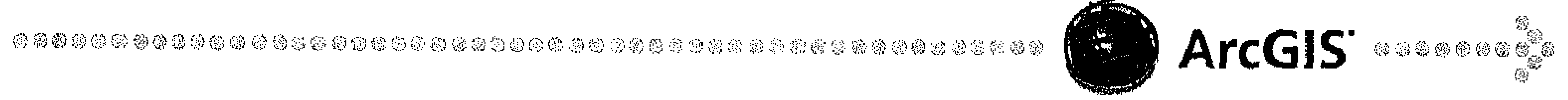
اختيرت هذه البرامج والأنظمة بهدف دعم شريحة واسعة من القراء من جهة، ونظراً لأنها تمثل عائلات مختلفة من برامج وأنظمة المعلومات الجغرافية من جهة أخرى، كما أن إنجاز المهام ذات الصلة بالتقنيات المكانية يتطلب في كثير من الأحيان استخدام هذه البرامج والأنظمة معاً.

يوضح الجدول التالي البرامج والأنظمة المستخدمة في هذا الكتاب ويبين العائلات التي تنتمي إليها بالإضافة إلى أمثلة عن برامج وأنظمة شبيهة بها تنتمي إلى ذات العائلة:

البرنامج/النظام	العائلة	برامج/أنظمة شبيهة
ArcGIS for Desktop	برامج نظام المعلومات الجغرافية المكتبية	GeoMedia و MapInfo Professional و Quantum GIS Professional Desktop
AutoCAD Map	برامج نظام المعلومات الجغرافية المبنية على نظام التصميم بالحاسوب (CAD)	MicroStation GeoGraphics وBentley Map
Oracle Spatial and Graph	أنظمة إدارة قواعد البيانات العلاقاتية (RDBMS) التي تدعم البيانات المكانية ووظائف التحليل المكاني	IBM Informix و SQL Server Spatial IBM DB2 و Spatial DataBlade وPostGIS Spatial Extender
FME Desktop	أدوات الاستخراج والتحويل والتحميل (Extract, Load, Transform: ETL الموجهة للبيانات المكانية	Spatial extension for و GeoKettle Data والملحق Talend Interoperabilityفي ArcGIS المبني على تقنية FME

جدول عائلات برامج وأنظمة المعلومات الجغرافية

وفيما يلي الأيقونات التي تشير إلى التعليمات الفنية الخاصة بالبرامج والأنظمة التي يغطيها هذا الكتاب:



يُستخدم نظام ArcGIS من شركة esri في تنفيذ شريحة واسعة من مهام نظام المعلومات الجغرافية، بدءاً من إنشاء وتجميع البيانات المكانية والخرائط وتحريرها، ومروراً بمعالجة البيانات المكانية وتحليلها، بالإضافة إلى نشرها ومشاركتها مع المستخدمين والجهات الأخرى، ويعمل على منصات مختلفة.

يتألف برنامج ArcGIS for Desktop من مجموعة من التطبيقات المدمجة منها:

- ArcCatalog: يستخدم لإدارة البيانات المكانية وتصفحها، ويوفر الأدوات اللازمة لعرض وإدارة ما وراء البيانات (metadata) لمجموعات البيانات المكانية.
- ArcMap: تطبيق يستخدم لعرض البيانات المكانية وتحريرها والاستعلام عنها، بالإضافة إلى إنشاء الخرائط.
- ArcToolbox: يتضمن هذا التطبيق أدوات المعالجة الجغرافية (geoprocessing) وتحويل البيانات، بالإضافة إلى أدوات التحليل.

تتوفر أيضاً مجموعة من **الملاحق** (extensions) لبرنامج ArcGIS for Desktop تغطي الاحتياجات المختلفة منها 3D Analyst وSpatial Analyst وNetwork Analyst و Survey Analyst وTracking Analyst وGeostatistical Analyst.



برنامج AutoCAD Map 3D من شركة Autodesk برنامج هندسي رائد في مجال إنشاء وإدارة البيانات المكانية. يسدّ هذا البرنامج الفجوة بين برمجيات **التصميم بالحاسوب** (CAD) – التي تعتمد عليها عملية التصميم ومشروعات الإنشاء والتخطيط – وبين برمجيات نظام المعلومات الجغرافية.

يوفر AutoCAD Map 3D للمستخدم وصولا مباشراً إلى مجموعة كبيرة من **هيئات** (formats) البيانات المكانية، ويوفر الأدوات التي يشتهر بها برنامج الرسم والتصميم AutoCAD بالإضافة إلى أدوات التحليل المكانية المتوفرة في برمجيات نظام المعلومات الجغرافية الأخرى، ما يسمح بدمج وظائف نظام المعلومات الجغرافية مع عملية التصميم الهندسي في بيئة واحدة أكثر كفاءة.




Oracle Spatial and Graph (سابقاً Oracle Spatial) هو جزء من النسخة **المؤسسية** (Enterprise) من قاعدة بيانات Oracle ولكنه بحاجة إلى ترخيص مستقل، كما تتوفر الوظائف الأساسية منه مجاناً في النسخ الأدنى من النظام باسم Oracle Locator. يدعم Oracle Spatial and Graph التقنيات المكانية مدمجة في قاعدة البيانات؛ فالبيانات المكانية **نوع بيانات أصيل** (native data type) كما هي أنواع البيانات الأخرى، كما يوفر الأدوات المطلوبة لإنشاء وتحرير وتحليل وإدارة البيانات المكانية باستخدام تعليمات SQL ما يسمح بتمكين حلول الأعمال المؤسسية المعتمدة على Oracle مكانياً بسهولة ويسر.

توفرت الأدوات المكانية في Oracle منذ الإصدارة 4، ولكنها ظهرت رسمياً في الإصدارة 7 باسم Spatial Data Option أو SDO. ثم أضيفت إليها مزايا جديدة في الإصدارة 8 وسوّقتها Oracle باسم Oracle Spatial. يسمى Oracle Spatial الآن Oracle Spatial and Graph وذلك للتنبيه على مزايا البرنامج ذات الصلة بنمذجة الشبكات والتي ظهرت في الإصدارة 10g R1.




FME (Feature Manipulation Engine) هو مجموعة متكاملة من أدوات **الاستخراج والتحويل والتحميل** (ELT) تنتجها شركة Safe Software الكندية. تستخدم هذه الأدوات لإدارة البيانات المكانية وتحويلها ونقلها من **هيئة** (format) إلى أخرى، بالإضافة إلى معالجتها باستخدام مجموعة كبيرة من أدوات التحليل والمعالجة والدمج والتدقيق.

لا يحتاج مستخدم أدوات ELT عادة إلى استعراض البيانات لتنفيذ هذه الأدوات، كما يمكنه تعريف عملية جديدة مكونة من سلسلة من العمليات الأساسية.

ظهرت أدوات ELT المكانية في البداية لتعزيز قابلية التشغيل المتبادل بين التطبيقات المختلفة والتغلب على مشكلة تبادل البيانات بين الهيئات **المملوكة** (proprietary) للشركات والتي تتسم بالانغلاق عادة، لكنها تطورت فيما بعد وأصبحت أدوات أساسية لمساعدة المؤسسات على معالجة البيانات المكانية ودمجها مع الحلول المؤسسية الأخرى.

قائمة الرموز

$1/f$	مقلوب التفلطح
$1:a$	دقة المسافة
a	نصف القطر الكبير لمجسّم إهليلجي
$Accuracy_r$, $Accuracy_z$	الدقة الأفقية والدقة الرأسية
b	دقة فرق الارتفاع
b	نصف القطر الصغير لمجسّم إهليلجي
d	المسافة بين نقطتين
d	طول قوس جيوديسي
d	المسافة الأفقية التقريبية بين مواقع نقاط التحكم على طول مسار تسوية
e	خطأ عشوائي خارجي
E	شرقيات
e'^2	مربع اللا مركزية الثانية
e^2	مربع اللا مركزية الأولى
f	التفلطح
FE	شرقيات زائفة
FN	شماليات زائفة
H	ارتفاع أورثومتري أو معتمد على الجاذبية
h	ارتفاع جيوديسي
k_O	عامل المقياس في المبدأ الطبيعي
m	ثابت يستخدم لتمثيل التغير في اتجاه قياس الإحداثيات الرأسية
m_S	عامل مقياس فرق الإحداثيات في نظام الإحداثيات المرجعي المصدر
m_T	عامل مقياس فرق الإحداثيات في نظام الإحداثيات المرجعي الهدف
M_X, M_Y	طول وحدة واحدة من محور نظام الإحداثيات المصدر مقيسة بوحدات محور نظام الإحداثيات الهدف، على المحورين X وY على الترتيب
n	عدد القياسات
N	شماليات
N	تموّج الجيوئيد
$N_{\Delta g}$	تأثير شذوذ الجاذبية على تموّج الجيوئيد
N_{GM}	تموّج الجيوئيد حسب نماذج الجيوئيد العالمية
N_T	التأثير غير المباشر لكتلة التضاريس على تموّج الجيوئيد
R_A	نصف قطر الكرة مساوية المساحة
R_C	نصف قطر الكرة المطابقة

$RMSE_{min}$, $RMSE_{max}$	أصغر وأكبر قيمتي الخطأين الأفقيين RMSEx وRMSEy
$RMSE_r$, $RMSE_z$	الخطأ الأفقي والخطأ الرأسي
$RMSE_X$, $RMSE_Y$	الخطأ الأفقي في الاتجاهين X وY
R_X, R_Y, R_Z	زاوية الدوران بين محوري X وY وZ بين مجسّمين إهليلجيين
SF_L	عامل مقياس الخريطة على طول L
X, Y, Z	الإحداثيات أرضية المركز
X_P, Y_P, Z_P	إحداثيات نقطة أصل المرجع التي تم تدوير المجسّم الإهليلجي حولها
X_S, Y_S	الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات المصدر
X_{SO}, Y_{SO}	إحداثيات نقطة التقييم مقيسةً على نظام الإحداثيات المصدر
X_T, Y_T	الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف
X_{TO}, Y_{TO}	إحداثيات نقطة مبدأ نظام الإحداثيات المصدر أو إحداثيات نقطة التقييم مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف
α_1	الاتجاه الابتدائي
α_2	الاتجاه الخلفي
β	زاوية العرض المختصرة
$\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$, Δh	فروق زوايا العرض والطول وفرق الارتفاع
Δa	فرق نصف القطر الكبير بين مجسّمين إهليلجيين
Δf	الفرق بين تفلطحي مجسّمين إهليلجيين
ΔS	الفرق بين حجمي مجسّمين إهليلجيين
ΔX, ΔY, ΔZ	الانزياح بين مركزي مجسّمين إهليلجيين على محاور X وY وZ
$\Delta\hat{\sigma}$	الزاوية المركزية
ζ	قيمة تصحيح الارتفاع
θ_X, θ_Y	الزاويتان اللتان يحتاج محورا X وY في نظام الإحداثيات المصدر إلى الدوران حولهما لينطبقا مع محوري X وY في نظام الإحداثيات الهدف
ν_φ	نصف قطر الانحناء في الناظم الأعظم عند زاوية العرض φ
ρ_φ	نصف قطر الانحناء لخط الزوال عند زاوية العرض φ
σ	انحراف معياري
φ, λ, h	الإحداثيات الجغرافية (زاويتا العرض والطول وقيمة الارتفاع)
φ_0, λ_0	الإحداثيات الجغرافية لمبدأ الإسقاط (زاوية عرض المبدأ الطبيعي أو دائرة العرض المركزية وزاوية طول المبدأ الطبيعي أو خط الزوال المركزي)
φ_S, λ_S, h_S	الإحداثيات الجغرافية لنقطة في نظام الإحداثيات المصدر
φ_T, λ_T, h_T	الإحداثيات الجغرافية لنقطة في نظام الإحداثيات الهدف
χ, Λ	الإحداثيات المطابقة المكافئة للإحداثيات الجغرافية (φ, λ)
χ_O, Λ_O	الإحداثيات المطابقة المكافئة للإحداثيات الجغرافية (φ_0, λ_0) لمبدأ الإسقاط

قائمة الاختصارات

1SP: one standard parallel — موازٍ قياسي واحد

2SP: two standard parallels — موازيان قياسيان

3D: three-dimensional — ثلاثي الأبعاد

A/E/C: Architecture, Engineering, Construction — العمارة والهندسة والإنشاء

A-GPS or aGPS: assisted global positioning system — نظام تحديد المواقع العالمي المعزّز

AMSDAS: Australian Map and Spatial Data Horizontal Accuracy Standard — المواصفة القياسية الأسترالية للدقة الأفقية في الخرائط والبيانات المكانية

ASPRS: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing — الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد

B.M: bench mark — علامة منسوب أو نقطة تحكم رأسية

BI: business intelligence — ذكاء الأعمال

CAD: computer aided design — تصميم بالحاسوب

CCD: charge-coupled device — جهاز مزدوج الشحنة

CCRS: compound coordinate reference system — نظام مرجعي للإحداثيات المركّبة

CM: central meridian — خط زوال مركزي

COMPD_CS: compound coordinate reference system — نظام مرجعي للإحداثيات المركّبة

CRM: customer relationship management — إدارة علاقات الزبائن

CRS: coordinate reference system: — نظام إحداثيات مرجعي

CS: coordinate system — نظام إحداثيات

CTS: coordinate transformation service — خدمة تحويل الإحداثيات

DD: decimal degree — درجة عَشْرية

deg: degree — درجة

DEM: digital elevation model — نموذج ارتفاع رقمي

DGPS: differential global positioning system — نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي

DLT: direct linear transformation — التحويل الخطي المباشر

DMS: degree minute second — درجة دقيقة ثانية

DORIS: Doppler orbitography and radiopositioning integrated by satellite: — رسم المدارات والتحديد الراديوي للمواقع بدوبلر المدمجة في القمر الاصطناعي

DSM: digital surface model	نموذج سطح رقمي
DTM: digital terrain model	نموذج تضاريس رقمي
ECEF: earth-centered, earth-fixed	ثابت ومتمركز مع الأرض
EGM2008: Earth Gravitational Model 2008	نموذج جاذبية الأرض للعام 2008
EGM96: Earth Gravitational Model 1996	نموذج جاذبية الأرض للعام 1996
EPSG: European Petroleum Survey Group	مجموعة المساحة النفطية الأوربية
ESA: European Space Agency	وكالة الفضاء الأوروبية
ETL: extract, transform, and load	استخراج وتحويل وتحميل
FGDC: Federal Geographic Data Committee	اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية
FE: false easting	شرقيات زائفة
FGCC: Federal Geodetic Control Committee	لجنة التحكم الجيوديسي الاتحادية
FM: Facility Management	إدارة المرافق
FN: false northing	شماليات زائفة
GEOCCS: geocentric coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات أرضية المركز
GeogCRS or **GEOGCS**: geographic coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية
GEOREF: world geographic reference system	النظام المرجعي الجغرافي العالمي
GIS: geographic information system	نظام المعلومات الجغرافية
GNSS: global navigation satellite system	نظام عالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية
GPS: global positioning system	نظام تحديد المواقع العالمي
HAE: height above ellipsoid	ارتفاع فوق المجسّم الإهليلجي
ICSM: Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping	اللجنة الدائمة للمعلومات الطوبوغرافية في اللجنة الحكومية للمساحة وإعداد الخرائط
IERS: International Earth Rotation and Reference Systems Service	الخدمات الدولية لدوران الأرض والأنظمة المرجعية
IPS: indoor positioning system	نظام تحديد المواقع داخل المباني
IRM: International Reference Meridian	خط الزوال المرجعي الدولي
IRP: International Reference Pole	القطب المرجعي الدولي
ITRF: International Terrestrial Reference Frame	إطار مرجعي أرضي دولي
ITRS: International Terrestrial Reference System	نظام مرجعي أرضي دولي
IUGG: International Union of Geodesy and Geophysics	الاتحاد العالمي للجيوديسيا والجيوفيزياء
LADAR: laser detection and ranging	لادار

LAT: lowest astronomical tide	أدنى جزر فلكي
LBS: location-based service	خدمة معتمدة على الموقع
LIDAR: light detection and ranging	لَيْدار
LLR: lunar laser ranging	سبر القمر بالليزر
ln: natural logarithm	اللوغاريتم الطبيعي أو النيبري
LPS: local positioning system	نظام تحديد المواقع المحلي
LRS: linear referencing system	نظام إسناد طولي
MGRS: military grid reference system	النظام المرجعي للشبكة العسكرية
min: arc-minute	دقيقة قوسية
MSL: mean sea level	متوسط منسوب البحر
NGA: National Geospatial-Intelligence Agency	وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية الأمريكية
NGN: national geodetic network	شبكة جيوديسية وطنية
NIMA: National Imagery and Mapping Agency	وكالة التصوير والخرائط الوطنية
NMAS: United States National Map Accuracy Standards	المواصفات القياسية الوطنية لدقة الخرائط في الولايات المتحدة
NOC: no objection certificate	شهادة عدم ممانعة
NSDI: National Spatial Data Infrastructure	البنية التحتية للبيانات المكانية الوطنية
OGC: Open Geospatial Consortium	الاتحاد الجيومكاني المفتوح
OGP: International Association of Oil & Gas Producers	الرابطة الدولية لمنتجي النفط والغاز
OSGeo: Open Source Geospatial Foundation	المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة
ProjCRS: projected coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات المُسْقَطة
rad: radian	راديان
RADAR: radio detection and ranging	رادار
RMSE: root-mean-square error	خطأ متوسط التربيع
ROI: return on investment	عائد على الاستثمار
RPC: rational polynomial coefficients	المعاملات كثيرة الحدود الكسرية
RS: remote sensing	استشعار عن بعد
RTK: Real Time Kinematic	رصد متحرك في الوقت الحقيقي
SDI: spatial data infrastructure	البنية التحتية للبيانات المكانية
SDSS: spatial decision support systems	نظام دعم القرار المكاني
sec: arc-second	ثانية قوسية
SF: scale factor	عامل الحجم (بين مجسّمين إهليلجيين)

SF: scale factor	عامل المقياس (في الخريطة)
SLA: service-level agreement	اتفاقية مستوى الخدمة
SLR: satellite laser ranging	سبر الأقمار الاصطناعية بالليزر
SRID: spatial reference system identifier	مُعرّف النظام المرجعي المكاني
SRTM: Shuttle Radar Topography Mission	مهمة المسح الراداري للتضاريس من مكوك الفضاء Shuttle
SSH: sea surface height	ارتفاع سطح البحر
SST: sea surface topography	طوبوغرافية سطح البحر
TM: Transverse Mercator	إسقاط ميركاتور المستعرض
TRF: terrestrial reference frame	إطار مرجعي أرضي
UAV: unmanned aerial vehicle	طائرة بدون طيار
UPS: Universal Polar Stereographic	نظام الإحداثيات المجسّم القطبي العالمي
UTM: Universal Transverse Mercator	إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي
VD: deflection of vertical, or, vertical deflection	انحراف الشاقول أو انحراف الرأسي
VERT_CS or **VertCRS**: vertical coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية
VLBI: very long base-line interferometry	تداخل خط الأساس الطويل جداً
WCTS: web coordinate transformation service	خدمة تحويل الإحداثيات على ويب
WKB: well-known binary	هيئة ثنائية معروفة
WKT: well-known text	نص معروف

الفصل 1

التقنيات المكانية والإحداثيات

يزداد استخدام التقنيات المكانية في دعم الأعمال واتخاذ القرارات ذات الصلة بالمكان، ويتوفر عدد هائل من البيانات المكانية من مصادر مختلفة، لكن الإحداثيات لها دور أساسي في الوصول إلى نتائج دقيقة أثناء التحليل وعند اتخاذ القرار.

نناقش في هذا الفصل موضوعات تمهيدية منها:

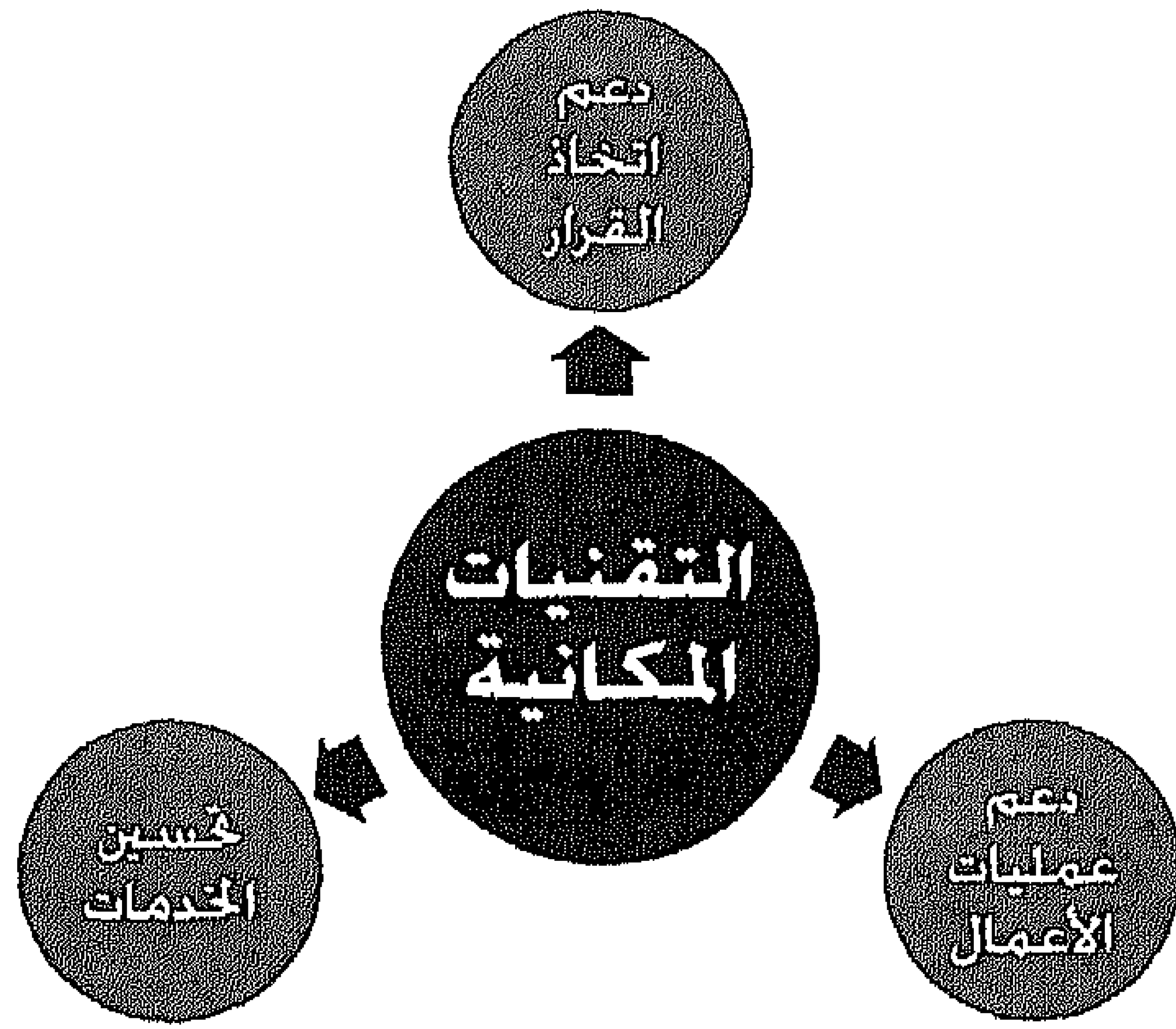
- التقنيات المكانية ومكوناتها
- البيانات المكانية والإحداثيات
- أهمية الإحداثيات وحقائق عنها
- الحصول على الإحداثيات
- أنواع الإسناد المكاني

1. التقنيات المكانية والإحداثيات

1.1. التقنيات المكانية

يطلق مصطلح **التقنيات المكانية** (spatial technologies) أو **التقنيات الجيومكانية** (geospatial technology) على العلوم والتقنيات المتعلقة بجمع وتحليل وتفسير وتوزيع واستخدام المعلومات عن الأماكن على سطح الأرض أو بالقرب منه، مثل العمران، البنية التحتية والخدمات من طرق وخطوط سكك حديدية وشبكة اتصالات ومياه وكهرباء وصرف صحي، البيئة والزراعة، المشافي والمراكز الصحية، الخ، بهدف تطوير صورة تفصيلية مفهومة عن المكان الذي نعيش فيه، ثم تحليله، واتخاذ القرارات الصحيحة.

التقنيات المكانية هي أداة لدعم **عمليات الأعمال** (business operations) واتخاذ القرارات ذات الصلة بالمكان، مثل التخطيط والتطوير العمراني، تخطيط المواصلات، التخطيط البيئي، المشروعات الهندسية، إدارة الأزمات والكوارث، الطاقة وإدارة الموارد والتنقيب عنها، الخ، وتدخل في عدد كبير من التطبيقات، مثل أنظمة ملاحة السيارات، إدارة وتسجيل العقارات، الإحصاء، كما تستخدم التقنيات المكانية أيضاً في التسويق وتحسين الخدمات المقدمة إلى الزبائن.



الشكل 1-1 التقنيات المكانية هي أداة لدعم العمليات واتخاذ القرارات ذات الصلة بالمكان

تستخدم التقنيات المكانية اليوم في جميع القطاعات، وتدعم الأنشطة اليومية في الإدارات المختلفة. وفيما يلي أمثلة عن تطبيقات التقنيات المكانية في هذه القطاعات:

- **البلديات والتخطيط العمراني**: ما هي المواقع التي يمكن للمطورين تخطيطها لبناء مدينة سياحية؟ المطلوب أن تتمتع تربتها بشروط جيوفيزيائية مناسبة ولا تحتاج إلى الكثير من أعمال الحفر والردم ولا تقل مساحتها عن س كيلومتر مربع ولا تبعد أكثر من ع كيلومتر عن المطار الدولي وليس فيها أي محميات بيئية؟
- **البنية التحتية والخدمات والاتصالات**: من هم المشتركون في خدمة إنترنت الذين

ستنقطع عنهم الخدمة عند ترقية بوابة إنترنت هذه؟ ما هي الميول المناسبة لشبكة الصرف الصحي بحيث لا تدفع شركة خدمات الصرف الصحي نفقات إضافية لأعمال الحفر؟ أين الفاقد في الكهرباء وهل هو ناتج من استجرار غير قانوني للتيار الكهربائي؟

- **المواصلات**: ما أفضل مسار لمركبات المواصلات العامة بين منطقتين؟ لماذا ارتفعت حوادث المرور على هذا الشارع وهل للأمر علاقة باللوحات الإعلانية المثبتة حديثاً؟ أين هي المطبات المرورية التي لا تصل إليها إنارة أعمدة الإنارة في الشوارع الداخلية؟
- **الصحة**: هل تستطيع سيارات الإسعاف إيصال المرضى إلى أقرب مركز للإسعاف خلال 15 دقيقة بحد أقصى؟ ما العلاقة بين المرضى المصابين بالطفح الجلدي الذين راجعوا المراكز الصحية خلال الشهر الحالي؟ هل يسكنون في منطقة واحدة؟
- **التعليم**: أين يجب بناء مدرسة جديدة؟ ما هي المناطق التي يزيد فيها عدد المدارس الخاصة عن المستوى المسموح بالمقارنة مع عدد السكان في تلك المناطق؟
- **الموارد البيئية والطبيعية**: ما هي المناطق التي يجب منع البناء فيها للمحافظة على نبات مهدد بالانقراض؟ أين المواقع المحتملة للنفط بحيث تباشر شركات التنقيب أعمال الاستكشاف؟
- **المال والأعمال**: ما أفضل موقع لافتتاح مقهى فاخر في المدينة؟ أين يسكن الأشخاص ذوو الدخل المرتفع؟ أين يجب إطلاق هذه الحملة الإعلانية؟
- **الأمن والسلامة العامة**: ما هي المساحة التي ستغرق في تعرض هذا السد لأعمال تخريبية؟ وكم نحتاج من الوقت لإجلاء السكان؟

إنشاء البيانات المكانية وإدخال التقنيات المكانية في المؤسسات ليس هدفاً بحد ذاته، بل هو أداة لتعزيز الحلول والأنشطة المؤسسية من خلال دمج البعد المكاني معها. ينتج من ذلك حلول وأنشطة مؤسسية **ممكّنة مكانياً** (spatially enabled)، ما يساعد على تنفيذ العمليات بفعّالية أكبر وبتكلفة أقل مع **عائد على الاستثمار** (return on investment: ROI) أكبر.

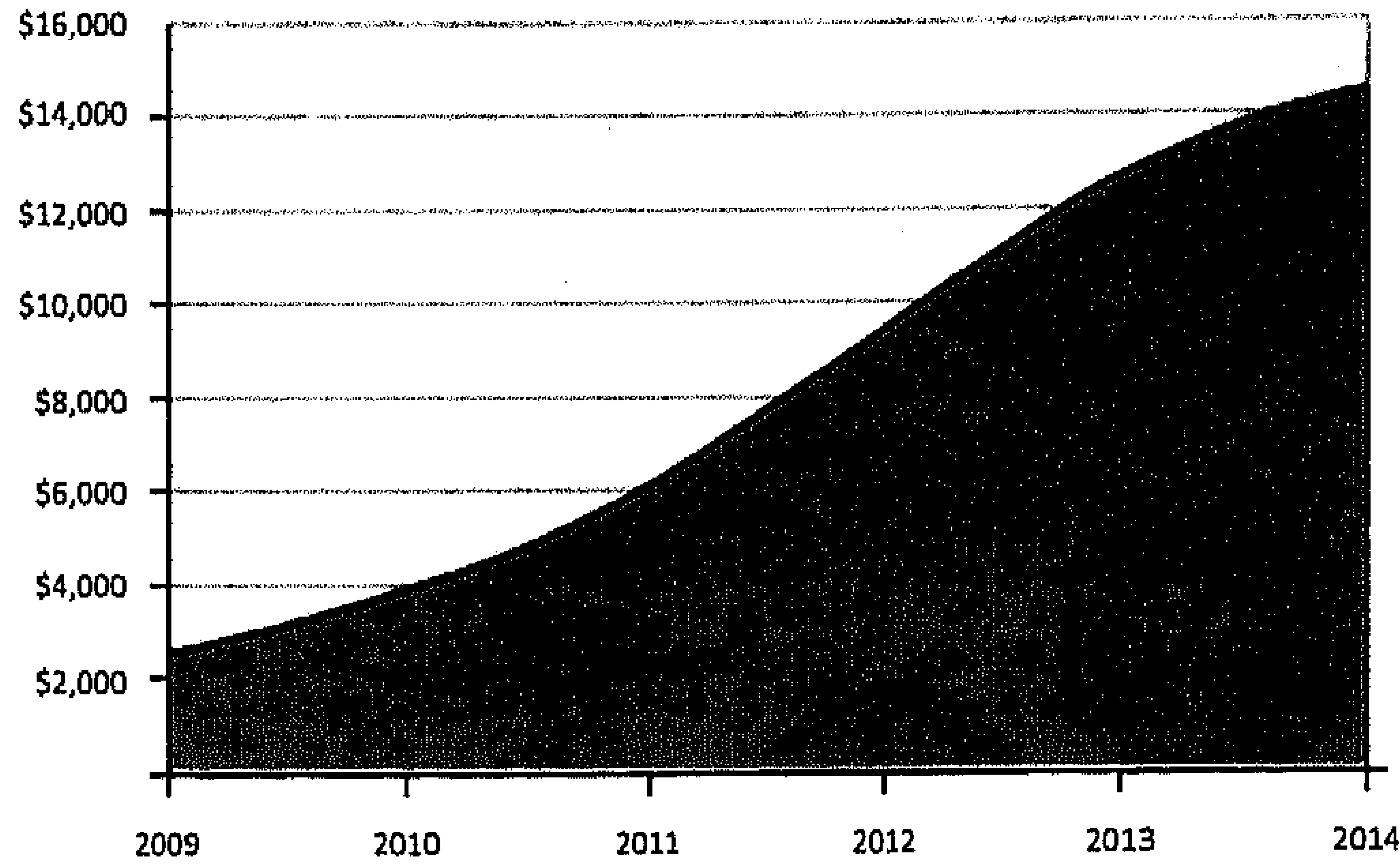
ومن الأمثلة على الحلول والأنشطة المؤسسية الممكّنة مكانياً:

- يساعد نظام **إدارة الأصول** (asset management) الممكّن مكانياً على حصر الأصول وتوفير المعلومات الدقيقة عنها، بما في ذلك مواقعها وحالتها الفيزيائية وسجلات عمليات الصيانة ذات الصلة، ما يعني تقديم خدمات مؤسسية أفضل من خلال التخطيط والتنسيق الأمثل لعمليات الصيانة التصحيحية والوقائية وإدارة الأعطال وانقطاع الخدمة.

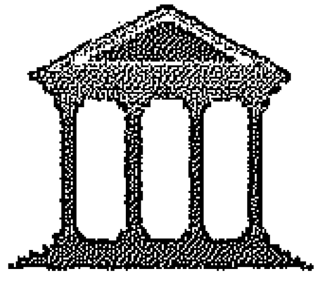
- يسمح **نظام إدارة علاقات الزبائن** (customer relationship management: CRM) الممكّن مكانياً بفهم سلوك الزبائن واستخدام أدوات التخطيط والتحليل لتوجيه خدمات المؤسسة حسب المناطق الجغرافية.
- تعزز التقنيات المكانية نظام **إدارة القوى العاملة المتنقلة** (mobile workforce management) وتقدم حلولاً لزيادة الإنتاجية ومتابعة سير العمل فيما يتعلق بالخدمات الميدانية، مثل إدارة الطلبات وجدولة وتوزيع مهام العاملين الميدانيين، ومتابعة اتفاقيات مستوى الخدمة (service level agreements: SLA's)، وتوقّع حجم المهام المستقبلية والتوزيع الأمثل لفرق العمل.
- يعتمد **التسويق الجيومكاني** (geomarketing) على دمج التقنيات المكانية مع مختلف جوانب التسويق، بما في ذلك المبيعات والتوزيع وتحليل الأسواق. ومن الأمثلة على ذلك تحديد الموقع الأمثل لمركز توزيع جديد، عرض اتجاهات السوق واحتياجات المستهلكين وتخطيط الحملات التسويقية حسب المنطقة الجغرافية.
- يمثل **نظام دعم القرار المكاني** (spatial decision support systems: SDSS) النسخة المكانية من تطبيقات **ذكاء الأعمال** (business intelligence: BI) ويستخدم في اتخاذ القرارات وحل المشكلات ذات الطبيعة المكانية، مثل إدارة أداء وكفاءة الأعمال وتخطيط الموارد وأولية المشروعات حسب المنطقة الجغرافية.

من ناحية أخرى، أدى ازدهار الاتصالات في أواخر التسعينيات من القرن الماضي وارتفاع أعداد المشتركين بخدمة الهاتف المتحرك إلى ظهور **الخدمات المعتمدة على الموقع** (location-based service: LBS). وتعتمد الفكرة على تقديم خدمات ذات صلة بالمنطقة الجغرافية التي يتصل المشترك منها بالشبكة من خلال تطبيقات يمكن الوصول إليها من الأجهزة المحمولة مثل **الهواتف الذكية** (smart phones) و**الأجهزة اللوحية** (tablets). ومن هذه الخدمات ما يتصل بالترفيه والحياة الشخصية مثل البحث عن صديق أو أقرب مطعم أو صراف آلي، وتقديم المعلومات للمستخدم عند دخوله منطقة جغرافية مثل الإعلان عن تنزيلات كبرى في مركز تسوق قريب، بالإضافة إلى رسائل التنبيه بوجود ازدحام مروري أو حادث في المنطقة المجاورة. وتشمل الخدمات المعتمدة على الموقع أيضاً **الملاحة التوجيهية** (turn-by-turn navigation) وخدمات التوصيل (delivery) و**إدارة الأساطيل** (fleet management) الخ.

يُتوقع نمو سوق الخدمات المعتمدة على الموقع في السنوات القادمة بسرعة، وتقدر دراسة منشورة في تقرير أعدته شركة TCS أن تنمو أرباح هذا السوق حول العالم ليصل إلى 14.7 مليار دولار أمريكي بحلول العام 2014 (TeleCommunication Systems, 2010).



الشكل 1-2 توقعات نمو الأرباح في سوق الخدمات المعتمدة على الموقع



يبدو أن للرقم 80 منزلة سحرية في التقنيات المكانية، إذ طبقاً لدراسات مختلفة فإن "80% من جميع المعلومات المخزنة في وسائط رقمية لدى الجهات الحكومية لها صلة بمواقع جغرافية"(Franklin, et al., 1992) ، وتشير التقديرات إلى أن "80% من المعلومات في القطاع الحكومي تتضمن مكونات جغرافية"(Grant, 1999) ، وأن ما لا يقل عن "80% من عمليات اتخاذ القرار في القطاعين العام والخاص تقوم على بعض الجوانب المكانية"(Østensen, 2001) ، وأن "تجارب من الدول الغنية تظهر أن المعلومات المكانية تؤثر في 80% من عملية اتخاذ القرار البشري" .(Ryttersgard, 2001)

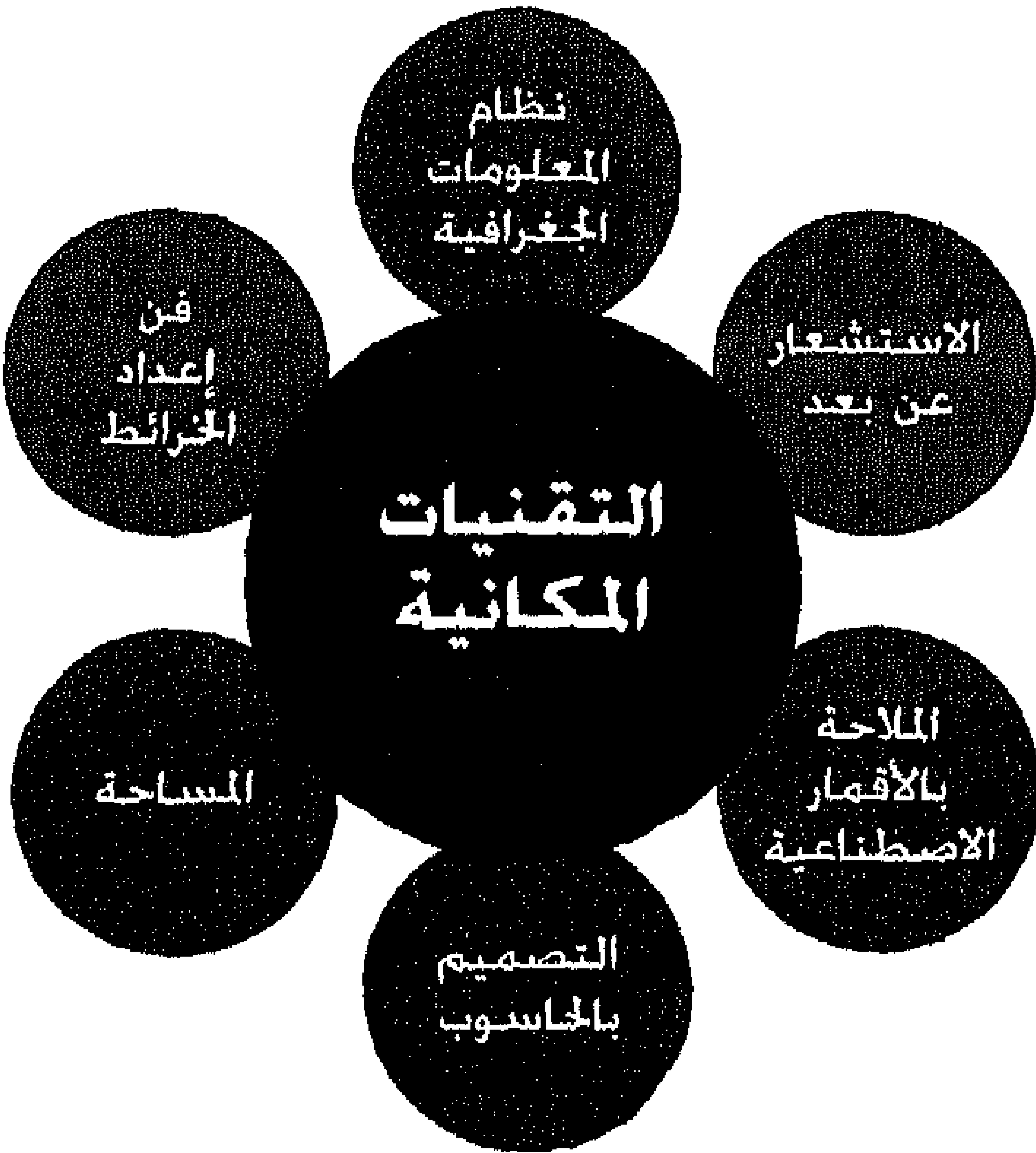
.1.1.1 مكونات التقنيات المكانية

التقنيات المكانية مجموعة مختلفة من العلوم والتقنيات، من أهمها:

- **نظام المعلومات الجغرافية** (geographic information system: GIS): جمع وتخزين وإدارة وعرض ومعالجة وتحليل البيانات المكانية.
- **الاستشعار عن بعد** (remote sensing: RS): قياس أو اكتساب معلومات عن خصائص نشاط بشري أو ظاهرة طبيعية، بواسطة جهاز تسجيل (غالباً من الطائرة أو

القمر الاصطناعي). يوفر الاستشعار عن بعد معلومات قيمة عن نمو المناطق الحضرية، التغير البيئي، آثار الكوارث الطبيعية، فضلاً عن الطقس والمناخ.

- **النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية** (global navigation satellite system: GNSS): تحديد إحداثيات المواقع باستخدام الأقمار الاصطناعية، مثل نظام تحديد المواقع العالمي (Global Positioning System: GPS) أو نظام GLONASS الخ.
- **التصميم بالحاسوب** (computer aided design: CAD): استخدام الحاسوب في عملية التصميم وتوثيقه. يُنفّذ التخطيط الحضري وتصميم المشروعات الإنشائية الكبرى باستخدام برمجيات التصميم بالحاسوب، ولذلك تُعدّ مصدراً مهماً للبيانات المكانية.
- **المساحة** (survey): تحديد مواقع النقاط والمسافات والزوايا بينها، بدقة، والحصول على معلومات وقياسات عن المعالم الطبيعية والصناعية لمنطقة ما، باستخدام وسائل متعددة.



الشكل 1-3 تشمل التقنيات المكانية مجموعة من العلوم والتقنيات

- **فن إعداد الخرائط** (cartography): تمثيل البيانات المكانية على خرائط، باستخدام أساليب وعلوم وفنون، بغية نمذجة الواقع بطريقة تسمح بإيصال المعلومات المكانية بفعالية.

شرق BOCTOK 東 øst

مصطلح القمر الصناعي خطأ شائع، فصناعي تقابل industrial في الإنجليزية، بينما اصطناعي تقابل artificial. المصطلح الأصلي في الإنجليزية هو artificial satellite أي (قمر) تابع اصطناعي، تمييزاً عن التابع الطبيعي natural satellite أي الأجرام الطبيعية التي تدور حول الأرض مثل القمر.

1.1.2. الجيوماتيكس والتقنيات المكانية

الجيوماتيكس (Geomatics) مصطلح علمي حديث نسبياً، وضعه Dubuisson العام 1969 بهدف الجمع بين مصطلحي الجيوديسيا و**الجيومعلوماتية** (Geoinformatics)، ويشمل الأدوات والتقنيات المستخدمة في المساحة، الاستشعار عن بعد، رسم الخرائط، نظام المعلومات الجغرافية، النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، المساحة التصويرية، والجغرافيا، ما يعني أن الجيوماتيكس والتقنيات المكانية مصطلحان مترادفان.

استخدم هذا المصطلح في الأصل في كندا، حيث يمكن استخدامه بصورة موحدة في الدولة، سواء في المقاطعات التي تتحدث بالفرنسية أو الإنجليزية. لكن استخدامه انتشر خارج كندا، فاستخدمته مجموعة من الهيئات الدولية، وتسمى اللجنة الفنية المسؤولة في ISO عن المواصفات القياسية ذات الصلة بالتقنيات المكانية لجنة المعلومات الجغرافية/الجيوماتيكس (ISO/TC211, Geographic information/Geomatics).

1.1.3. جغرافي أم مكاني أم جيومكاني؟

تستخدم المصطلحات الثلاثة "جغرافي" و"مكاني" و"جيومكاني" في واقع الحال وكأنها مصطلحات مترادفة، ولكن من المفيد فهم ما بينها من فروق.

تشير كلمة "**جغرافي**" (geographic) إلى شيء ذي صلة بعلم الجغرافيا؛ أي دراسة سطح الأرض، وبالتالي تُعدّ البيانات الجغرافية جزءاً مهماً من البيانات المكانية، بل تشكل فئة فرعية كبرى منها. ولكن البيانات المكانية تشمل مجموعة من البيانات لا يعنى بها علم الجغرافيا، عادةً، مثل الإشارات الضوئية التي تنظم حركة المرور في الشارع، والتي تُمثَّل بمجموعة من النقاط على خريطة البيانات المكانية وتشكل جزءاً مهماً منها.

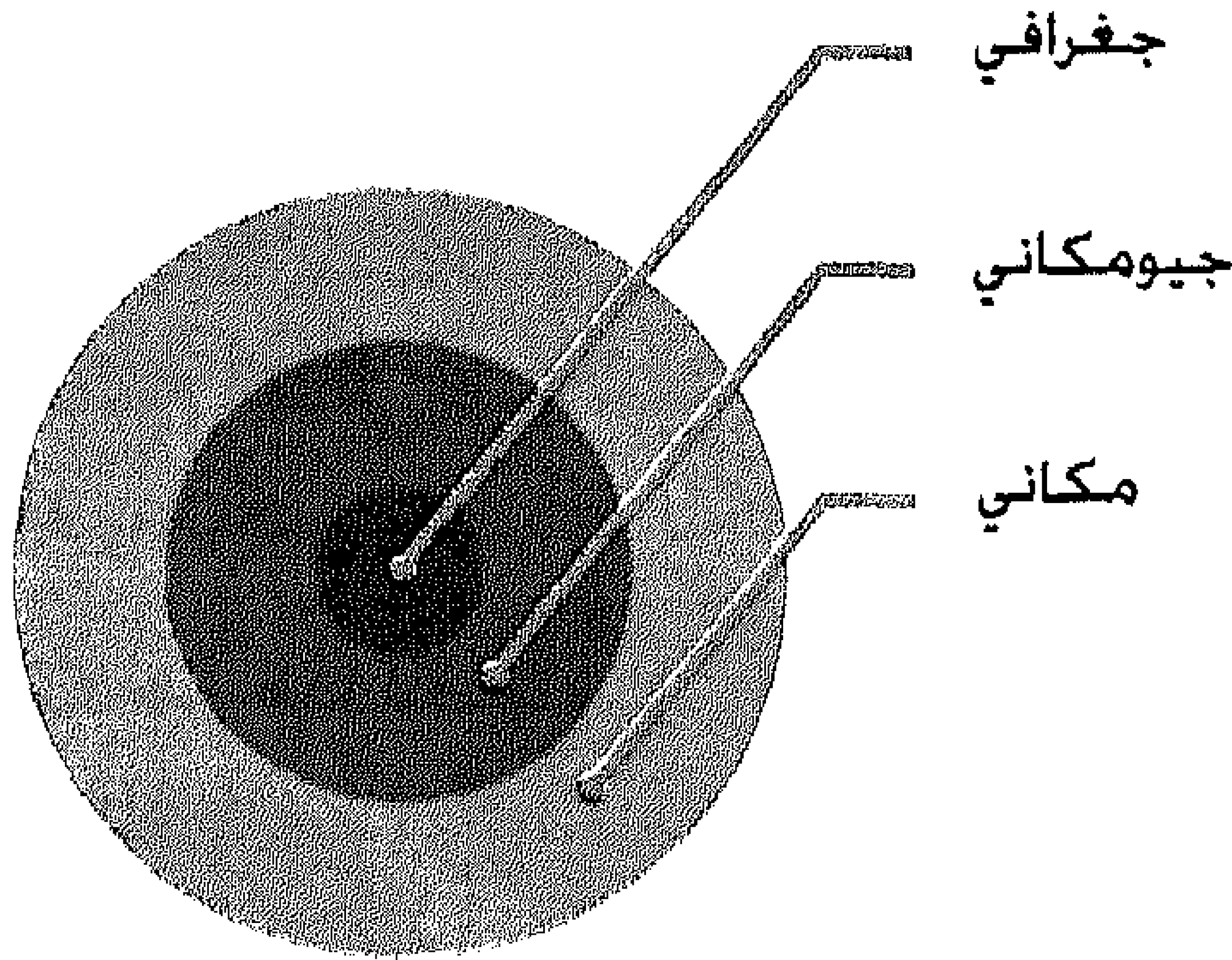


كلمة Spatial مشتقة من "المكان أو الحيز" (spatium) في اللاتينية، و-geo هي بادئة مأخوذة من كلمة Gē اليونانية التي تعني الأرض.

بدأت كلمة "مكاني" (spatial) تشق طريقها منذ فترة لتحل محل "جغرافي"، وتشير هذه الكلمة إلى الملامح أو الظواهر الموزعة في المكان ثلاثي الأبعاد، وتستخدم هذه الكلمة في العديد من الأنظمة التي تدعم التقنيات المكانية مثل Oracle Spatial و SQL Server Spatial. لكن النقد الذي يتعرض له استخدام مصطلح "مكاني"، أن المكان لا يشمل سطح الأرض فقط، بل أي

مكان آخر، مثل سطح كوكب المريخ.

"**جيومكـــاني**" (geospatial) هـــي كلمــة أخرى، نشأت في أوساط المشتغلين بالتقنيات المكانية لتضييق معنى "مكاني"، بحيث تقتصر على سـطح الأرض، وذلـك بإضـافة البادئـة -geo الـتي تعـني الأرض. ومـن الهيئـات الـتي تستخدم هـذه الكلمة **الاتحاد الجيومكاني المفتــوح** (Open Geospatial Consortium: OGC) وهـي هيئـة تضـع المواصفات القياسية للتقنيات المكانية.



الشكل 1-4 مجال المصطلحات الثلاثة؛ جغرافي ومكاني وجيومكاني

أما المنظمة الدولية للمواصفات القياسية (ISO) فتعرّف المعلومات الجغرافية بأنها "المعلومات عن الظواهر التي ترتبط ضمناً أو صراحة بمواقع ذات صلة بالأرض"، ولذلك تبدأ معظم مواصفاتها بعبارة "المعلومات الجغرافية" ثم موضوع المواصفة مثل المواصفة القياسية ISO 19113 - Geographic information - Quality Principles.

ومع ذلك تتردد الكلمات مكاني وجيومكاني كثيراً ضمن هذه الوثائق، بل تتضمن عناوين بعض هذه المواصفات كلمة "مكاني" مثل المواصفة القياسية ISO 19111 - Geographic information - Spatial referencing by coordinates والمواصفة القياسية ISO 19107 - Geographic information - Spatial schema، وكذلك تظهر كلمة "جيومكاني" في عنوان المواصفة القياسية ISO/DIS 19153 - Geospatial Digital Rights Management Reference Model. وبالإضافة إلى ذلك فإن بعض مجموعات العمل في اللجنة الفنية ISO/TC 211 المسؤولة عن هذه المواصفات القياسية تحمل كلمة جيومكاني في مسماها مثل مجموعة عمل الخدمات الجيومكانية.

يمكننا إذاً أن نقول أن المصطلحات الثلاثة مترادفة من الناحية العملية، لأن نظام المعلومات الجغرافية المستخدم منذ عقود توسّع في معنى البيانات الجغرافية ورسخ إطلاق هذا المصطلح على البيانات الجيومكانية بجميع أنواعها، كما إن الحديث عن البيانات المكانية يُقصد منه في الحقيقة الحديث عن البيانات ذات الصلة بسطح الأرض، وليس أماكن أخرى من الكون.



كان العرب يسمون الخريطة الصورة، ولذلك يسمي المسعودي الخريطة التي عملها في عهد الخليفة المأمون "الصورة المأمونية"، ويسمي البلخي كتابه "صور الأقاليم"، وكذلك الصوفي الذي رسم خرائط النجوم في كتابه "صور الكواكب الثمانية والأربعين"، أما الخريطة في العربية فتعني الوعاء الذي يُشدّ على ما فيه من الطعام أو المال أو الأوراق إلخ ويكون أحياناً من جلد، وجمعها خرائط، وأما الخارطة فهي الكاذبة أو الدابةّ الجموح الخ وجمعها خُرُط.

خريطة وخارطة كما نستعملها اليوم هي على الأرجح تعريب لفظي للكلمة اليونانية χάρτης (خارتيس) التي تعني الورقة أو الخريطة والتي انتقلت إلى كثير من لغات العالم (ومنها chart الإنجليزية وcarte الفرنسية). استخدم البحار العثماني پيرى رئيس كلمة "خرْطي" في الخريطة التي نشرها في العام 1513، واستخدم كلمة "خريطه" في كتابه "كتاب بحريت"، كما ظهرت كلمة "خارتة" في عدة مصادر منها الأطلس المطبوع في "مطبعة المرسلين الأميركان" في مالطا العام 1831 بعنوان "أطلس أي مجموع خارتات رسم الأرض"، وفي كتاب "نهر الذهب في تاريخ حلب" للغزي، وظهرت في خريطة مطبوعة في بيروت العام 1893 في "مطبعة الأميركان" بعنوان "خارتة مستحدثة لولايات المملكة العثمانية في آسيا"، ما يدل على انتقال الكلمة اليونانية إلى العربية من عدة طرق، ويفسر ظهور كلمتي خارطة وخريطة معاً في اللغة العربية المعاصرة.

بقي أن تعلم أن الخريطة تسمى في الفارسية والأوردية "نقشه".

1.2. البيانات المكانية

بصورة عامة يمكننا تقسيم البيانات إلى نوعين:

- **بيانات مكانية** (spatial data, geospatial data, or geographic information): وهي المعلومات عن الظواهر التي ترتبط ضمناً أو صراحة بمواقع ذات صلة بالأرض، كما مر معنا.
- **بيانات غير مكانية** (aspatial data or non-spatial data): وهي المعلومات التي تفتقر إلى العنصر المكاني مثل لائحة بأسماء العصائر الطازجة.

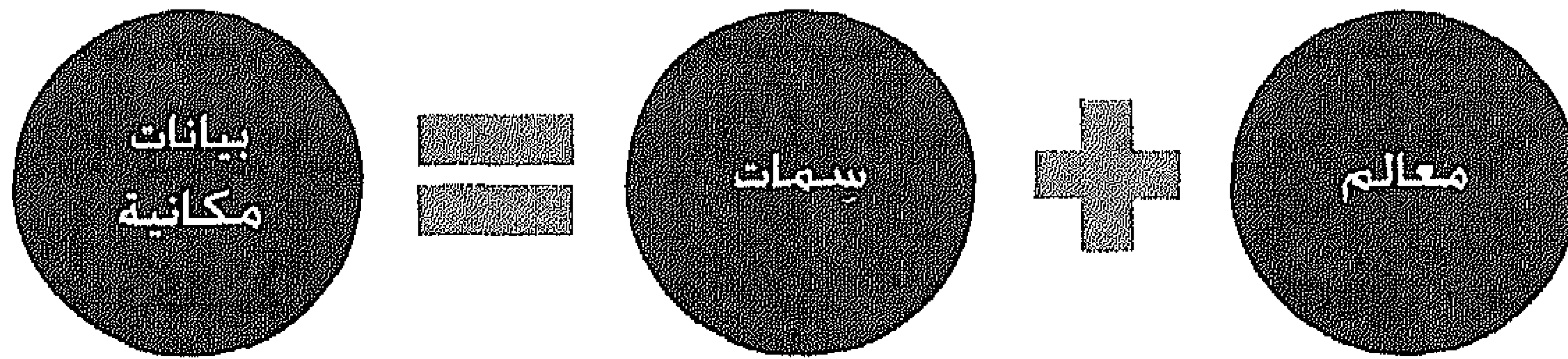
تظهر بعض البيانات للوهلة الأولى وكأنها بيانات غير مكانية لكنها في الحقيقة تتضمن معلومات يمكن استنتاج المواقع منها. وكمثال على ذلك، يبين الجدول التالي معلومات عن الزبائن لدى شركة من غير أن يتضمن عناوين إقامتهم، ومع ذلك تُصنّف هذه البيانات في فئة البيانات المكانية لأن عنوان الإقامة يمكن استنتاجه من رقم الهاتف:

الرقم	اسم الزبون	رقم الهاتف	الاهتمامات
1	سامر	+971 (4) XXXXXX	الكتب
2	محمود	+971 (6) XXXXXX	الطعام الصحي
3	عمرو	+971 (4) XXXXXX	الإلكترونيات
4	وليد	+971 (4) XXXXXX	أدوات الصيد

الجدول 1-1 جدول بمعلومات زبائن شركة لا يتضمن عناوين إقامتهم

ولا يقتصر استنتاج عنوان الإقامة من رقم الهاتف على معرفة المدينة التي يقيم بها كل زبون فقط من خلال بداية رقم الهاتف، بل نستطيع ربط هذه الأرقام بمعلومات أخرى تفصيلية من شركة الاتصالات التي تقدم خدمات الهاتف الثابت وبذلك يمكننا تحديد رقم المبنى والشارع الذي يقيم فيه الزبون بدقة.

تتوفر البيانات المكانية غالباً في ملفات أو قواعد بيانات، وتتضمن هذه البيانات **كائنات** (objects or entities) هي الأشياء التي نريد تمثيلها كالمباني والشوارع وخطوط الكهرباء والغابات وحدود المناطق التي تعاني من تلوث، الخ، وتتضمن البيانات المكانية بالإضافة إلى الكائنات معلومات وصفية ذات صلة بهذه الكائنات تسمى بصورة عامة **خصائص** (properties).



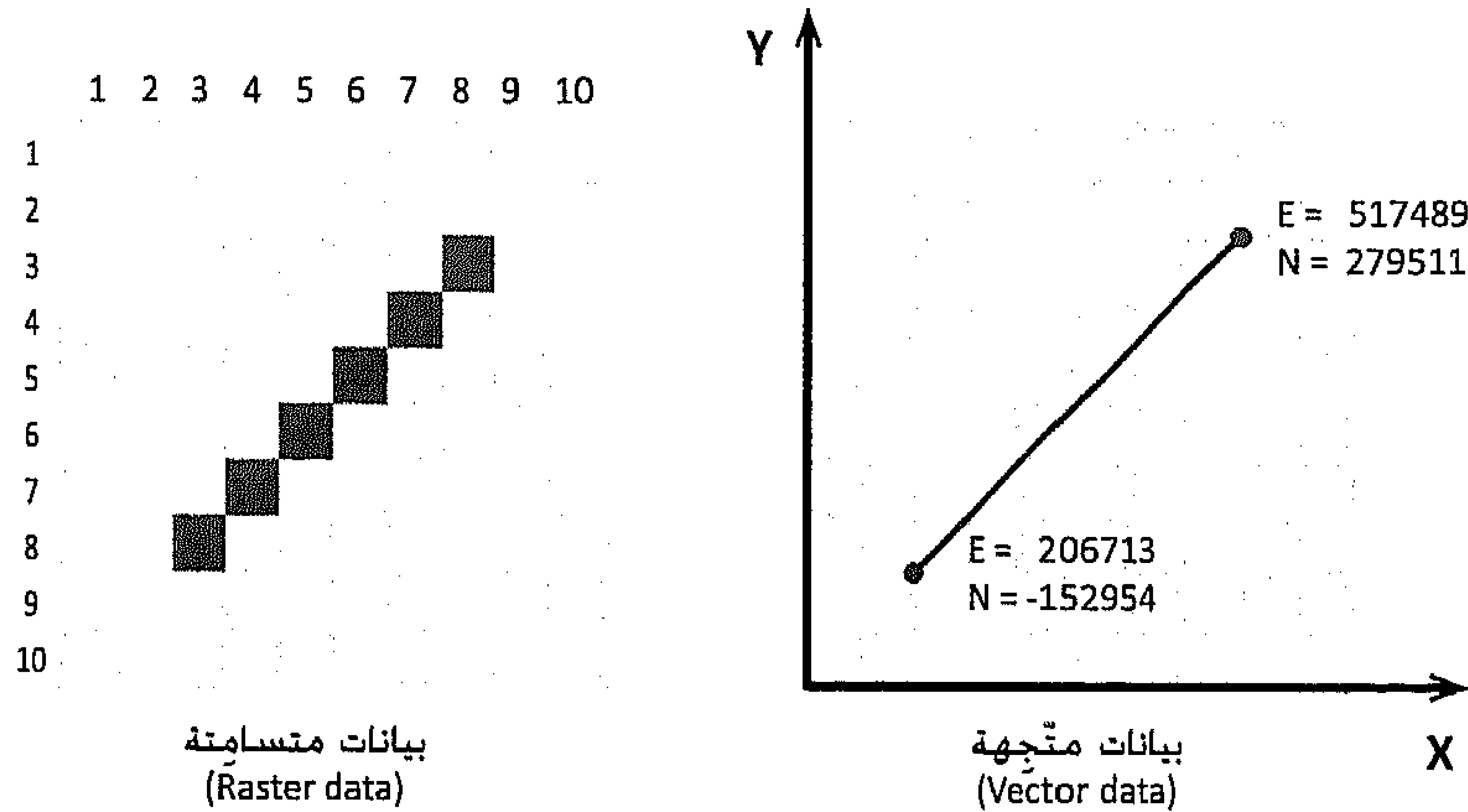
الشكل 1-5 تتألف البيانات المكانية من كائنات وسمات

في التقنيات المكانية تسمى الكائنات **مَعالم** (features) وتسمى الخصائص **سِمات** (attributes). تصف الإحداثيات موقع المعْلَم (موقع المدرسة مثلاً) بينما تصف السِّمات

خصائص المعْلم (اسم المدرسة، عدد الصفوف، عدد الطلاب، الرسوم السنوية، المساحة الكلية، المنهاج الدراسي، الخ). تؤدي الإحداثيات دور الركيزة الأساسية في البيانات المكانية وبدونها لا يصبح للكائنات – وبالتالي السمات – أي معنى جغرافي.

ثمة نوعان رئيسيان من البيانات المكانية؛ هما **البيانات المُتَّجِهة** (vector data) و**البيانات المتسامِتة** (raster data).

تتألف البيانات المتّجهة من كائنات ذات أشكال هندسية تُمَثَّل بمعادلات رياضية، مثل النقطة والخط والمضلع الخ، وتُخزَّن قيم الإحداثيات الجغرافية أو الإحداثيات المُسقطة الخ في هذه البيانات، بينما تتألف البيانات المتسامِتة من مجموعة من **الخلايا** (cells) أو **البكسلات** (pixels) وتكون مرتبة في صفوف وأعمدة مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية والصور **الممسوحة** (scanned)، ويُعبَّر عن إحداثيات الخلايا فيها بطريقة بسيطة هي رقم الصف ورقم العمود.



الشكل 1-6 البيانات المتجهة والبيانات المتسامتة

في البيانات المتجهة، تُمَثَّل النقطة بزوج من الإحداثيات، ويُمثّل الخط بزوجين من الإحداثيات يمثلان نقطتي البداية والنهاية، وهكذا. وعندما تشاهد خريطة تفصيلية لمنطقة كبيرة فهذا يعني أنها تخفي من ورائها عدداً كبيراً جداً من أزواج الإحداثيات.

المثال التالي يبين مبنى المسافرين في مطار الخرطوم الدولي (بيانات متجهة)، متراكب مع صورة قمر اصطناعي (بيانات متسامتة):



الشكل 1-7 مبنى المسافرين في مطار الخرطوم الدولي

يعرض الشكل أعلاه التمثيل الرسومي للمبنى كما يبدو عند عرضه في برامج التقنيات المكانية، ولكن المبنى ما هو إلا كائن مكاني (مضلّع) له إحداثيات وسِمات كما يبدو عند إلقاء نظرة عليه إحدى الهيئات المستخدمة في حفظ البيانات المكانية مثل GeoJSON (تمثيل الكائنات الجيومكانية في JavaScript):


```
{"name":"Khartoum_Intl_Airport","type":"FeatureCollection","features":[{"type":"Feature
","geometry":{"type":"Polygon","coordinates":[[[32.5496415179087,15.5964449808243],[
32.5497881500952,15.5963037476962],[32.5498344233672,15.5963483171774],[32.549
9365851364,15.596249917011],[32.5498903118644,15.5962053475084],[32.5500423526
151,15.5960589047888],[32.549842836689,15.5958667347377],[32.549221622983,15.5
957903297273],[32.5497683186927,15.5956421502328],[32.5496877911807,15.5957197
129503],[32.549657142649 9,15.5956901928149],[32.54974067492,15.5956097359538],[
32.5495898360723,15.5954644504633],[32.549508106657,15.5955431709012],[32.5491
68569012,15.5952161335898],[32.5490742196135,15.5953070094967],[32.54904417203
41,15.5952780681292],[32.5490591958237,15.5952635974439],[32.5489810721178,15.5
951883498646],[32.5487400905327,15.5954204596171],[32.5488164113839,15.5954939
706309],[32.5488326370766,15.5954783423073],[32.5488692951231,15.5955136507404
],[32.5487755466759,15.5956039476891],[32.5491614053865,15.5959755999803],[32.54
90388958828,15.5960935988279],[32.5491007022255,15.5961531295081],[32.54921930
35858,15.5960388949448],[32.5493095074369,15.5961257775761],[32.5491909060768,
15.596240012091],[32.549325376633,15.5963695314291],[32.5494439779931,15.59625
52969863],[32.5494456484348,15.5962536880498],[32.5496415179087,15.59644498082
43]]]},"properties":{"NAME_E":"Khartoum International Airport Terminal","BLDG_ID":1}}
]}
```

1.3. الإحداثيات

الإحداثيات (coordinates) مجموعة من الأرقام تستخدم للدلالة على موقع النقطة دلالةً فريدة في النظام المرجعي الذي تُقاس عليه هذه الإحداثيات.

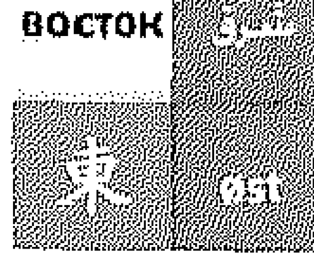
يُعرّف **الإحداثي** (coordinate) في مواصفات ISO القياسية بأنه "واحد من سلسلة مؤلفة من عدد n من الأرقام يستخدم للدلالة على موقع نقطة في فراغ أبعاده n". ويجمع هذا التعريف أنواع الإحداثيات المختلفة؛ الإحداثيات أحادية البعد مثل الإحداثيات الرأسية المقيسة على محور وحيد عمودي على متوسط منسوب البحر مثلاً، وثنائية الأبعاد مثل الجغرافية ثنائية الأبعاد (العرض والطول)، وثلاثية الأبعاد مثل الإحداثيات المركّبة (العرض والطول والارتفاع فوق متوسط منسوب البحر).



تكتب coordinate في الإنجليزية أيضاً co-ordinate وcoördinate. تلفظ هذه الكلمة في الإنجليزية عندما تكون اسماً (إحداثية) بطريقة مختلفة عن لفظها عندما تكون فعلاً (ينسّق).

الكلمة	اللفظ
coordinate (إحداثي)	/koʊˈɔɹdənət/
coordinate (ينسّق)	/koʊˈɔɹdəˌneɪt/
رمز IPA	مثال
k	cat, kit
oʊ	go, hope, know
ˈ	(primary stress)
ɔɹ	hoarse, glory
d	dot, idea
ə	about
ˌ	(secondary stress)
n	note, ant, pan
eɪ	play, same
t	ton, stab

الجدول 2-1 لفظ كلمة **coordinate** حسب المعنى



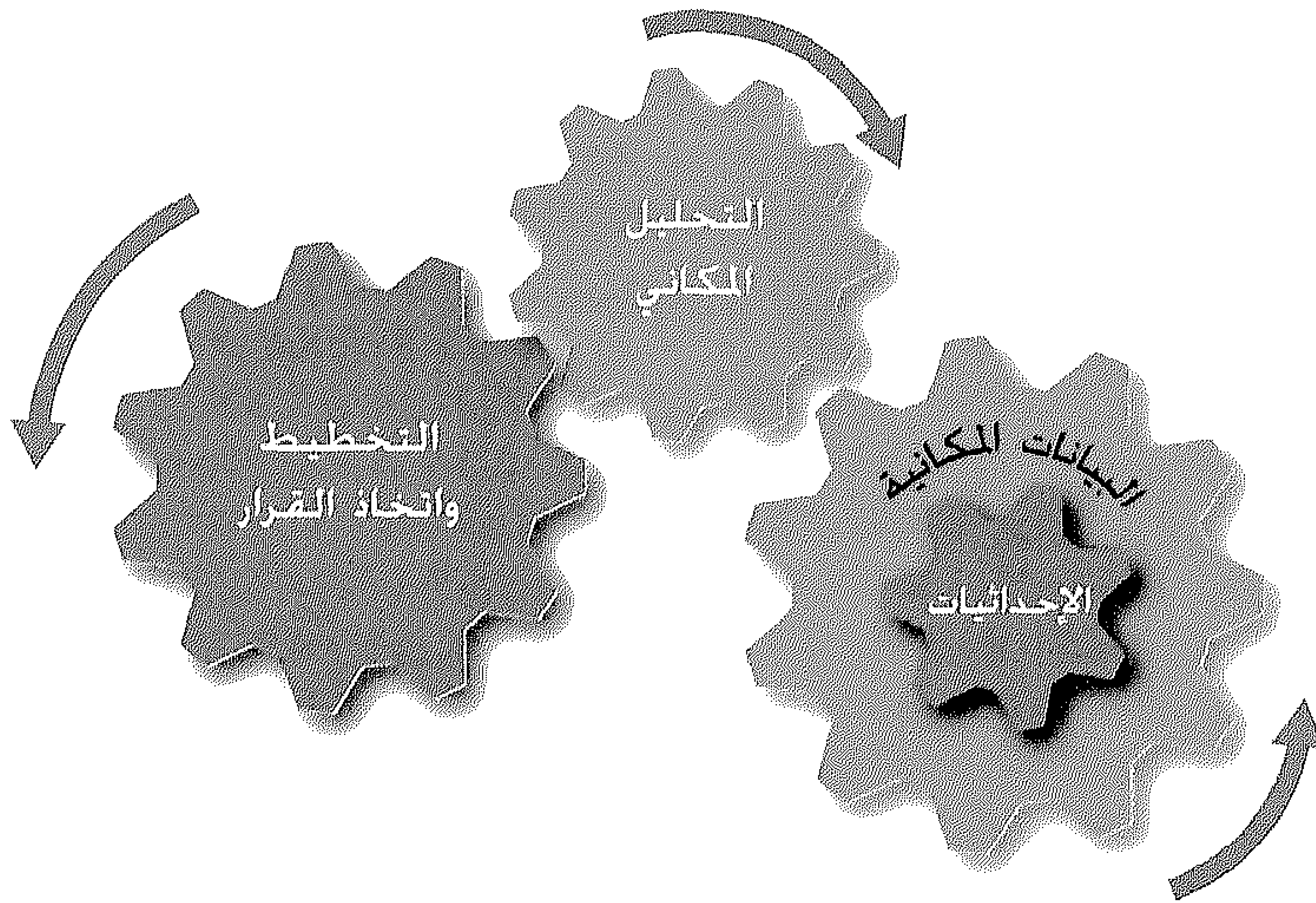
صيغة المفعول من الفعل قَاسَ هي مَقِيس، وليست مُقاس.

يُصاغ اسم المفعول من الفعل الثلاثي على وزن مفعول، نحو: سَمِعَ، مَسْمُوع، وقرأ مَقْرُوء. فإذا كان الفعل أجوف (أي ثانيه حرف عِلّة) حذفت الواو من مفعول، نحو: صانَ يصُون مَصُوْن (أصله مَصْوُون)، وَ زاد يزيد مَزِيْد (أصله مَزْيُود). ومثل ذلك: قاسَ يقِيس مَقِيس (أصله مَقْيُوس). هذا في الأعم الأغلب، وبعض الأفعال الجوفاء لها صيغتا مفعول؛ مثل مَدِين ومَدْيُون، ومَعِيب ومَعْيُوب.

1.3.1. لماذا الإحداثيات

يزداد استخدام البيانات المكانية في العديد من التطبيقات، يوماً بعد يوم، كما يتوفر عدد هائل من البيانات المكانية من مصادر مختلفة حول العالم يمكن الوصول إليه بسهولة ومجاناً، ولكن هذه التقنيات المكانية تتطلب وصفاً شاملاً ودقيقاً للمواقع، وبخاصة عندما تُنشأ مجموعات البيانات المكانية من بيانات مختلفة قائمة على أنظمة إحداثيات مرجعية مختلفة.

إذا كانت البيانات المكانية مؤلفة من الإحداثيات، فهذا يعني أنه كلما كانت هذه الإحداثيات صحيحة ودقيقة كانت البيانات المكانية كذلك.



الشكل 1-8 من الإحداثيات إلى اتخاذ القرار

لا يمكن - إذاً - تناول التقنيات المكانية دون الحديث أولاً عن الإحداثيات، لأن التسجيل الدقيق لإحداثيات البيانات المكانية بحيث تمثل مواقعها في العالم الحقيقي - حسب متطلبات الدقة المناسبة للغرض من استخدامها - يسمح بتحليلها بصورة صحيحة للوصول إلى قرارات صحيحة

كذلك، وتكتسب البيانات المستخدمة في التقنيات المكانية قيمتها من معرفتنا أولاً بالنظام المرجعي لإحداثياتها، وثانياً من مستوى الدقّة الذي تعبر فيه قيم هذه الإحداثيات عن المواقع على سطح الأرض، وبدون ذلك يمكن أن يقودنا استخدام البيانات المكانية إلى نتائج غير دقيقة أثناء التحليل وعند اتخاذ القرار.

تتسبب الإحداثيات غير الدقيقة في ابتعاد المعالم عن مواقعها الحقيقية ما يمكن أن ينتج منه نتائج غير صحيحة في التخطيط والتحليل، ما يعني اتخاذ قرارات غير صائبة. مثلاً: إن خطأً مقداره ثانية واحدة (1/3600 من الدرجة) في قياس زاوية عرض موقع النقطة يتسبب في ابتعادها عن موقعها الأصلي شمالاً أو جنوباً مسافة 31 متراً تقريباً.

البيانات التالية تمثل ما يواجه المستخدم أحياناً من صعوبات في محاذاة البيانات. قد تكون هذه المشكلة ناتجة من الدقة الموقعية المنخفضة لمستقبل GPS الذي جُمعت به بيانات الطرق، أو خطأ في تحويل البيانات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات، أو استخدام صورة جوية غير **مُسندة جغرافياً** (georeferenced) بدقة، أو **مسح** (scanning) بيانات الطرق من خريطة ورقية قديمة تعاني من تشوّه، الخ.



الشكل 1-9 لا توائم بيانات الطرق صورة القمر الاصطناعي بسبب الاختلاف أو الأخطاء في الإحداثيات

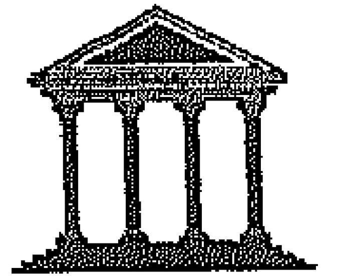
يمكن أن تتفاقم مشكلة الاختلاف أو الأخطاء في قياس إحداثيات البيانات المكانية في هذا المثال فتؤدي إلى مشاكل أخرى منها:

- أخطاء في حساب أطوال شبكة الطرق.
- إنشاء بيانات جديدة في محاذاة بيانات الطرق مثل خطوط الخدمات يجعل هذه البيانات عديمة النفع. ويمكن أن تتضارب خطوط الخدمات مثل الكهرباء والمياه مع بيانات أخرى، فتمر هذه الخطوط ضمن المباني السكنية.



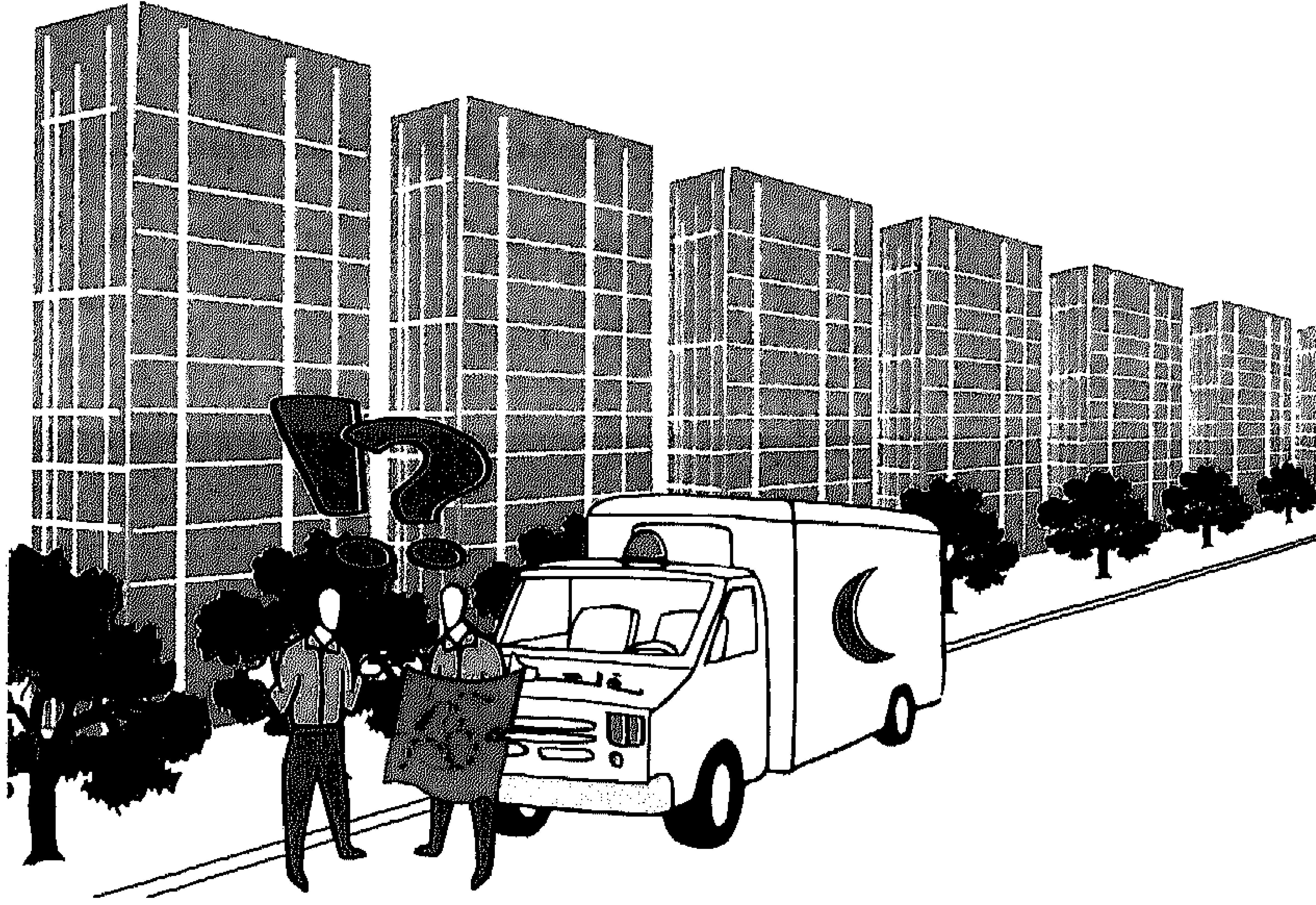
الشكل 1-10 الأخطاء في إحداثيات البيانات المتعلقة بالبنية التحتية يؤدي إلى الإضرار بها

تتنوع الأمثلة عن أهمية الإحداثيات كلّما تذكرنا البيانات المكانية التي تتطلبها أعمالنا اليومية. يمكننا مثلاً أن نتذكر **شهادات عدم الممانعة** (no objection certificates: NOC's) التي تمنح المقاول رخصة تنفيذ أعمال الحفر في موقع ما، ولنا أن نتخيل الضرر الذي تُمنى به البنية التحتية عندما لا تكون إحداثيات البيانات المكانية مثل شبكة الماء والكهرباء والاتصالات مقيسة بدقة.



تشكل الأنظمة المرجعية للإحداثيات جزءاً مهماً من المواصفات القياسية ذات الصلة بنظام المعلومات الجغرافية في المؤسسات، وتؤثر تأثيراً مباشراً في تبادل البيانات المكانية بين الجهات وعلى **قابلية التشغيل المتبادل** (interoperability) بين الأنظمة والبرمجيات. وعادة تعتمد المؤسسات نظام الإحداثيات المرجعي الذي تقره الجهة المختصة داخل الدولة أو المنطقة الإدارية، مثل هيئة المساحة أو البلدية.

تستخدم التقنيات المكانية أيضاً في أنظمة الطوارئ، مثل الإسعاف، وإذا لم تتوفر في هذه الأنظمة البيانات المكانية الدقيقة والمحدّثة لن يتمكن فريق الإسعاف من الوصول إلى منزل المريض في الحالات الطارئة، حين تضيع الدقائق الثمينة الأخيرة في البحث عنه.



الشكل 1-11 استخدام التقنيات المكانية في أنظمة الطوارئ يتطلب بيانات مكانية دقيقة ومحدّثة

ما زالت التحديات المتعلقة بالأنظمة المرجعية للإحداثيات وتحويل البيانات المكانية ماثلة، وتشكل هذه التحديات أهمية خاصة في البلاد التي تستخدم أكثر من نظام مرجعي واحد للإحداثيات أو لم تنتقل بعد إلى الأنظمة المرجعية الحديثة. ولذلك يُعدّ موضوع الإحداثيات مهماً لمديري المشروعات وأخصائيي نظام المعلومات الجغرافية في الجهات الحكومية والشركات الخاصة التي تعمل في المشروعات الحكومية.

وفيما يلي بعض مخاطر الأخطاء في الإحداثيات على الأعمال:

- الحفر أو تنفيذ الإنشاءات في مواقع غير صحيحة
- الإضرار بالبنية التحتية والتعدي على ممتلكات الآخرين
- تأخير تنفيذ المشروعات، والزيادة في التكاليف، مع إنفاق الموارد للتحقيق في الأخطاء
- الإضرار بسمعة المؤسسة والدخول في نزاعات قضائية

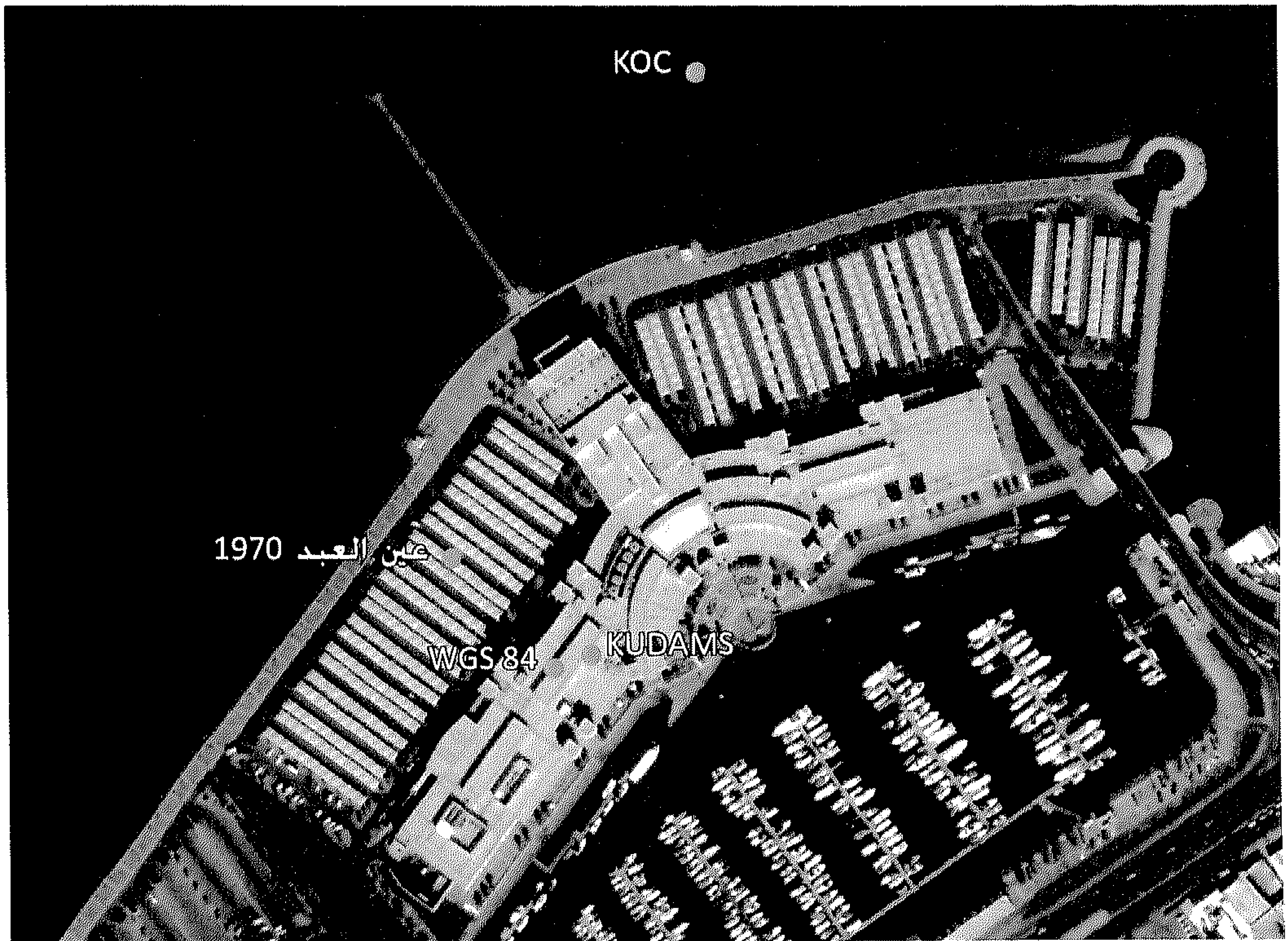
.1.3.2 حقائق عن الإحداثيات

.1.3.2.1 ثمة أماكن متباعدة لها الإحداثيات ذاتها

الإحداثيات ليست فريدة، إذ إن إحداثيات نقطة ما تكون حسب نظام الإحداثيات المرجعي التي تُقاس عليه.

المثال التالي يبين منطقة سوق شرق في مدينة الكويت وموقع نقطة إحداثياتها (العرض والطول):

$$\varphi = 29°23'20.00"N$$
$$\lambda = 47°58'50.00"E$$



الشكل 1-12 أربع نقاط لها العرض والطول ذاته ولكن في أربعة أنظمة مرجعية للإحداثيات

وكما نلاحظ يمكن رسم النقطة في أربعة مواقع مختلفة مستخدمين قيم الإحداثيات ذاتها، إذ تعتمد النتيجة على نظام الإحداثيات المرجعي المستخدم في رسم النقطة، وهي في مثالنا هذا WGS 84 وعين العبد (Ain el Abd) وشركة نفط الكويت (Kuwait Oil Company: KOC) ونظام إدارة

المرافق والخدمات في الكويت (KUDAMS)، ولذلك لا يكفي أن نقول إن النقطة إحداثياتها كذا، بل يجب تحديد النظام المرجعي لهذه الإحداثيات.

يدل هذا المثال على أن استخدام بيانات مكانية ذات إحداثيات منسوبة إلى نظام مرجعي مجهول أو مختلف عن باقي البيانات في الخريطة يتسبب في ظهورها على مسافة بعيدة من موقعها الأصلي قد تصل إلى مئات الأمتار.

ولا يعني اختلاف هذه الأنظمة الأربعة في الكويت وجود أخطاء أو مشكلة، إذ يتوفر في جميع بلدان العالم أكثر من نظام مرجعي واحد، لأسباب منها الاحتياجات العملية التي تتعلق بنوع النشاط الذي تمارسه جهة ما داخل الدولة، ويمكن تحويل البيانات بين هذه الأنظمة بسهولة - نوعاً ما - باستخدام طرق التحويل المخصصة لهذا الغرض.

أما سبب وفرة الأنظمة المرجعية للإحداثيات (ثمة الآلاف من هذه الأنظمة) فيعود لأسباب تاريخية أو علمية نبحثها في الفصول اللاحقة.

1.3.2.2. النقطة الواحدة لها عدة إحداثيات

يمكننا أن نستنتج من المثال السابق أن النقطة الواحدة على الأرض لها عدة إحداثيات في آنٍ معاً، وذلك تبعاً لنظام الإحداثيات المرجعي الذي نقيس موقع هذه النقطة عليه، ويعود السبب في ذلك إلى الاختلاف القائم في تمثيل شكل الأرض بين هذه الأنظمة.

يبين الجدول التالي إحداثيات قمة هرم خفرع (Pyramid of Khafre) في الجيزة في القاهرة في عدد من الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية:

النظام المرجعي للإحداثيات	العرض	الطول
WGS 84	29°58'33.399"N	31°7'50.605"E
Egypt 1907	29°58'32.802"N	31°7'44.585"E
Egypt Gulf of Suez S-650 TL	29°58'32.119"N	31°7'44.189"E

الجدول 1-3 إحداثيات جغرافية مختلفة لقمة هرم خفرع

وكما نلاحظ، فإن قيم الإحداثيات غير متطابقة بين هذه الأنظمة على الرغم من أننا نقيس إحداثيات نقطة واحدة ثابتة على سطح الأرض. علماً بأن النظام الثالث في الجدول، أي النظام المرجعي Egypt Gulf of Suez S-650 TL هو مصمم للاستخدام في خليج السويس فقط، وليس مخصصاً أصلاً لقياس إحداثيات نقاط تقع خارج تلك المنطقة.

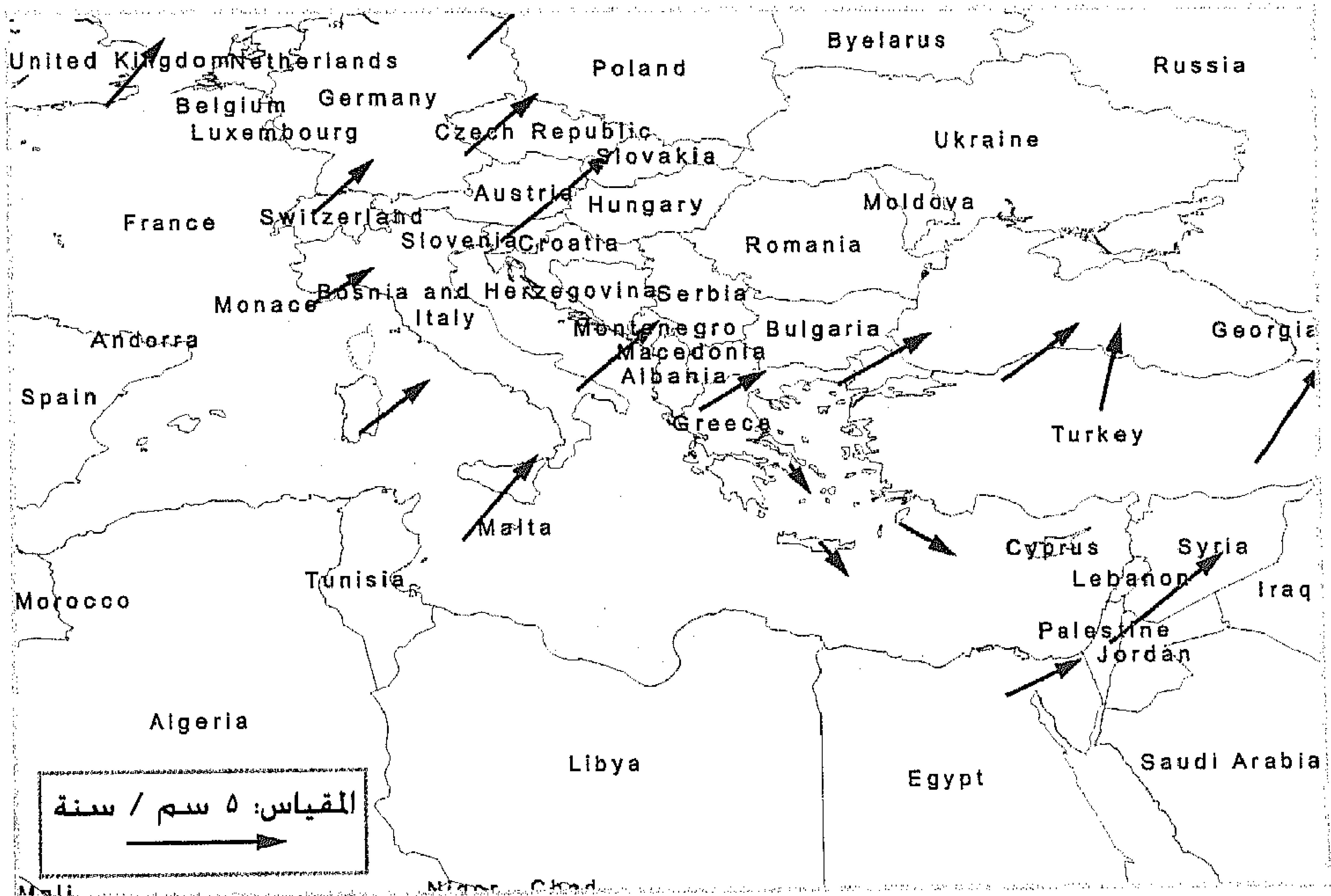
1.3.2.3. الإحداثيات تتغير عبر الزمن

وكما أن النقطة الواحدة لها إحداثيات مختلفة حسب النظام المرجعي للإحداثيات الذي تُقاس عليه، كذلك فإن إحداثيات النقطة الواحدة تختلف عبر السنين ولو قيست على ذات النظام المرجعي، ولذلك يتطلب العمل مع الإحداثيات معرفة **اللحظة** (epoch) التي قيست فيها.

تتحرك كتل القارات ببطء شديد كل سنة، وتتحرك كل **صفيحة قارية** (tectonic plate) باتجاه مختلف بسرعة قد تصل إلى حوالي 10 سم في العام الواحد.

تتحرك مثلاً الصفيحة الأسترالية بسرعة 67 ملم/سنة بزاوية 35 درجة إلى الشمال الشرقي، وبالتالي تتضمن الإحداثيات المقيسة بنظام تحديد المواقع العالمي لأي موقع في أستراليا عدم تيقّن من قيمة الإحداثيات يصل إلى 67 سم، إذا كانت هذه الإحداثيات مقيسة في لحظة غير معروفة خلال عشرة سنوات.

يبين الشكل التالي حركة الصفيحات القارّية شمال البحر الأبيض المتوسط (NASA, 1998). يبين طول السهم مقدار الحركة خلال سنة واحدة، على مقياس 5 سم في السنة، ويظهر في الشكل تأثير هذه الحركة البطيئة في الإحداثيات.



الشكل 1-13 حركة الصفيحات القارية في أوروبا (عن ناسا)

وبالإضافة إلى حركة الصفيحات القارّية، تستطيع الزلازل تحريك قشرة الأرض في منطقة الزلزال عشرات السنتيمترات.

تقتضي الاتجاهات الحديثة استخدام نظام مرجعي عالمي للإحداثيات – مثل WGS 84 المستخدم في نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) – وذلك لتحقيق التوافقية وقابلية التشغيل المتبادل على مستوى العالم. ومن المهم معرفة أن الإحداثيات المحلية تتأثر بحركة الصفيحات القارّية والزلازل عند استخدام هكذا نظام عالمي، على العكس من النظام المرجعي المحلي للإحداثيات الذي يرتبط بالمنطقة المحلية ارتباطاً وثيقاً ويتحرك معها. ولذلك يجب أن تُلحظ حركة الصفيحات القارية هذه عند تحويل البيانات المقيسة بنظام GPS إلى النظام المرجعي المحلي للإحداثيات.

من ناحية أخرى، يتحرك القطب المغناطيسي الشمالي للكرة الأرضية الذي تتجه إليه إبرة البوصلة بمرور الوقت بسبب التغييرات في نواة الأرض (انظر 4.3 اتجاه الشمال)، وبالتالي تختلف قيمة الانحراف بين الشمال المغناطيسي والشمال الحقيقي ببطء على مر الزمن. يراوح هذا الفرق بين درجتين و25 درجة كل مائة سنة تقريباً وذلك حسب بعد النقطة من القطب المغناطيسي، ولذلك عند تسجيل الاتجاهات المغناطيسية يجب تسجيل تاريخ القياس أيضاً.

.1.3.2.4 الارتفاع قيمة نسبية

عندما نقول أن الإحداثيات الرأسية (الارتفاع) لنقطة كذا وكذا فوق سطح البحر، فإن قياس هذه الارتفاع يبدأ في الحقيقة من نقطة ما على شواطئ الدولة تُنتقى لتكون مبدأ أو مرجعاً لقياس الارتفاعات. لكن المسافة الرأسية من قمة جبل مثلاً إلى البحر ليست ثابتة في جميع النقاط على امتداد الشاطئ إذا حتى لو كان البحر ساكناً تماماً، لأن سطح البحر يشبه ثمرة البطاطا التي لا تخلو من نتوءات وتجويف وذلك لاختلاف الجاذبية من نقطة إلى أخرى وإن كنا لا نستطيع ملاحظة ذلك. وإذاً، فإن ارتفاع قمة الجبل قيمة نسبية تحددها النقطة التي يقع الاختيار عليها لتكون – دون غيرها – مرجعاً لقياس الارتفاعات.

يُحسب متوسط منسوب البحر في هذه النقطة المرجعية باستخدام مقياس المد والجزر لمدة 19 عاماً وهي الفترة التي يحتاجها القمر للمرور من ذات النقطة في السماء مرتين، وتسمى **الدورة الميتونية** (metonic cycle)، بحيث نتأكد أن متوسط هذه القراءات يتضمن أحوال المد والجزر خلال دورة القمر كاملة.

تتأثر أيضاً الإحداثيات الرأسية مثل الارتفاع فوق متوسط منسوب البحر بظاهرة الاحتباس الحراري التي تتسبب في ذوبان الثلوج في القطبين الشمالي والجنوبي، وبالتالي ارتفاع متوسط منسوب البحر.

1.3.2.5. الإحداثيات قيمة مشكوك فيها

الخطأ طبيعة أصيلة في جميع القياسات التي نجريها، ويمكن إثبات ذلك بسهولة بالتجربة والخبرة العملية. لو قام عدة أشخاص بقياس قيمة ما بعناية وباستخدام أحدث الأجهزة فإن نتائج القياس لا تتطابق، وبالتالي فإن القيمة الحقيقة لا يمكن معرفتها، إلا إذا حصل ذلك بالصدفة المحضة من تجربة القياس الأولى. ولذا، فإن نتائج القياسات هي قيمة قريبة من القيمة الحقيقية.

الإحداثيات لا تشذ عن هذه القاعدة، لأسباب ناتجة من الأخطاء الشخصية وأخطاء الأجهزة وأخطاء أخرى، ويمكننا القول أن أفضل ما يتوفر لدينا من معرفة "دقيقة" بإحداثيات المواقع "الحقيقية" على سطح الأرض أو بالقرب منه ليست سوى الإحداثيات التي نأمل أنها حقيقية.

1.3.2.6. الإحداثيات لها دقة موقعية

بعد أن نفرغ من قياس الإحداثيات في منطقة "بدقة" للوصول إلى قيمها "الحقيقية" أي التي نأمل أنها حقيقية، يمكننا استخدام هذه القيم كمرجع لتقييم **الدقة المكانية** (spatial accuracy) – أو بالأحرى **الدقة الموقعية** (positional accuracy) كما تسمى في مواصفات ISO القياسية – الأفقية والرأسية لبيانات قديمة أو حديثة لتلك المنطقة بانتقاء نقاط منها ومقارنة إحداثياتها بالإحداثيات "الحقيقية" لذات النقاط، وكلما كانت الفروق صغيرة كانت الدقة الموقعية لهذه البيانات عالية، والعكس بالعكس.

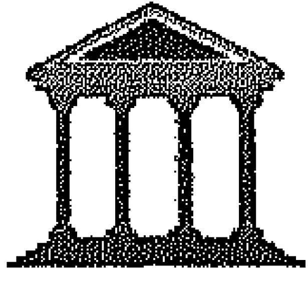
تعرّف الدقة الموقعية الأفقية المطلقة بمدى مطابقة الإحداثيات في البيانات المكانية لإحداثياتها الحقيقية التي تقابلها على الأرض. مثلاً؛ إذا كانت الدقة الموقعية الأفقية المطلقة لبيانات الحوادث المرورية 10 أمتار فهذا يعني أن موقع الحادث في البيانات المكانية يقع في مكان ما داخل دائرة نصف قطرها 10 أمتار من الموقع الحقيقي للحادث.

تختلف الدقة الموقعية المطلوبة حسب الهدف من استخدامها، فالدقة الموقعية للبيانات العقارية مثلاً تكون بالسنتيمترات لأنها تتعلق بحقوق يمكن أن ينشأ عنها منازعات قضائية، أما الدقة المطلوبة في جمع بيانات **الغطاء الأرضي** (land cover) التي تبين توزع المواد على سطح الأرض من تربة وأعشاب وأشجار ومياه الخ لأغراض الأبحاث البيئية فتكون عدة أمتار.

تتعلق الدقة الموقعية للبيانات بالطريقة المستخدمة في جمعها، فالبيانات الملتقطة بالنظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية وباستخدام طريقة **الرصد المتحرك في الوقت الحقيقي** (RTK) توفر بيانات بدقة عدة ملّيمترات (انظر 1.4.2 النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية)، بينما يوفر **الترقيم** (digitizing) بيانات مكانية بدقة منخفضة، يمكن أن تصل إلى 100 متر إذا تمت

عملية الترقيم من خريطة بمقياس صغير (انظر 1.4.6 الترقيم).

تنشأ الصعوبة في مواءمة (alignment) البيانات المكانية من مصادر مختلفة ودمجها في خريطة واحدة من اختلاف مستويات الدقة الموقعية التي توفرها طرق جمع البيانات المختلفة. ويتطلب العمل مع البيانات معرفة دقتها المكانية الأفقية والرأسية، كما يُعدّ توثيق دقة البيانات المكانية من الممارسات الجيدة في إدارة البيانات المكانية، وبدون ذلك يمكن أن يؤدي استخدام البيانات المكانية إلى نتائج غير متوقعة.



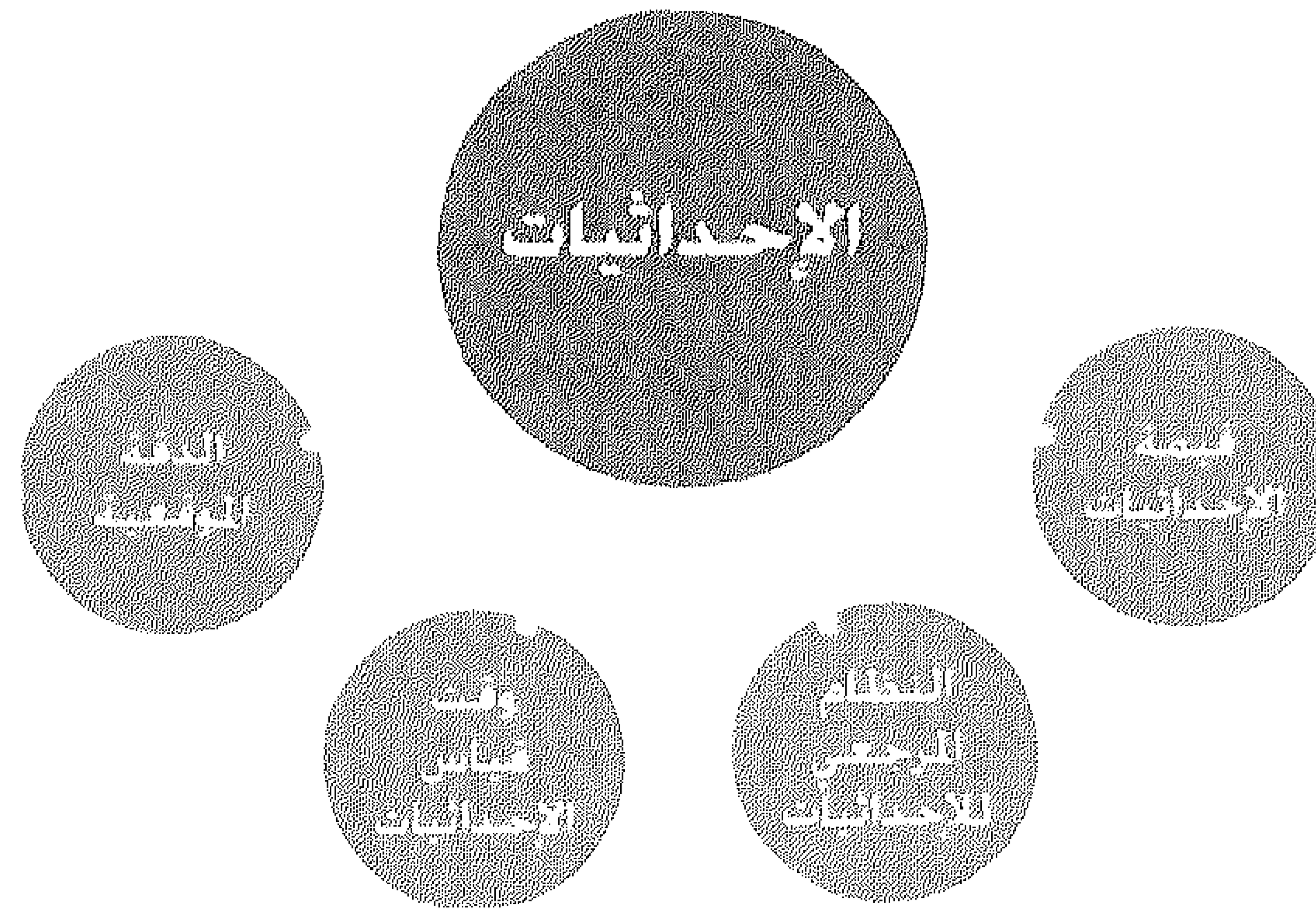
تختلف متطلبات الدقة الموقعية حسب الغرض من استخدامها، ومن المعتاد جمع البيانات المكانية بالدقة التي تتطلبها الأعمال في المؤسسة، إذ يؤدي جمع البيانات بدقة موقعية أعلى من الدقة المطلوبة إلى نفقات إضافية غير مبررة:

- لا يمكن تحديد دقة البيانات المكانية التي تتطلبها المؤسسة إلا من خلال معرفة الغرض من استخدام هذه البيانات.
- عندما تُستخرج البيانات المكانية من بيانات الاستشعار عن بعد مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية، فإن الدقة المطلوبة في البيانات المكانية المستخرجة تفرض مقياس الصورة المطلوب.
- دقة الخريطة ومقياس الصورة لهما تأثير كبير في تكلفة الحصول على البيانات المكانية.

1.3.3. كيف نعبّر عن الإحداثيات

لا يكفي إذاً معرفة قيمة الإحداثيات لتحديد موقع نقطة تحديداً دقيقاً وفريداً، إذ يتطلب استخدام البيانات المكانية معرفة المعلومات التالية:

- قيمة الإحداثيات
- نظام الإحداثيات المرجعي الذي قيست فيه هذه الإحداثيات
- وقت قياس الإحداثيات
- الدقة الموقعية

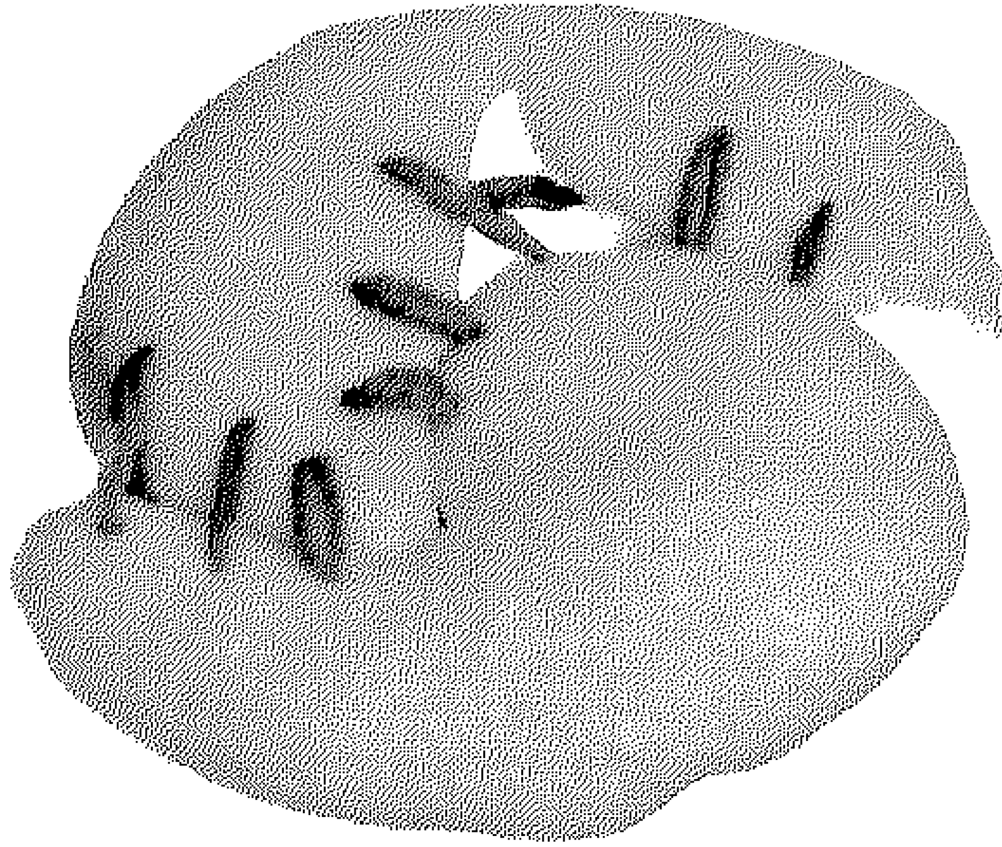


الشكل 1-14 مكونات الإحداثيات

1.3.4. خداع الخرائط

تنتج الخريطة من إسقاط الإحداثيات الجغرافية من الفضاء ثلاثي الأبعاد (الأرض) على سطح ثنائي الأبعاد (الخريطة) وذلك باستخدام طرق الإسقاط المعروفة. وتعاني جميع الخرائط من تشوّه، بصورة مشابهة لتمزّق قشرة البرتقال إذا ما حاولنا بسطها على سطح مستو.

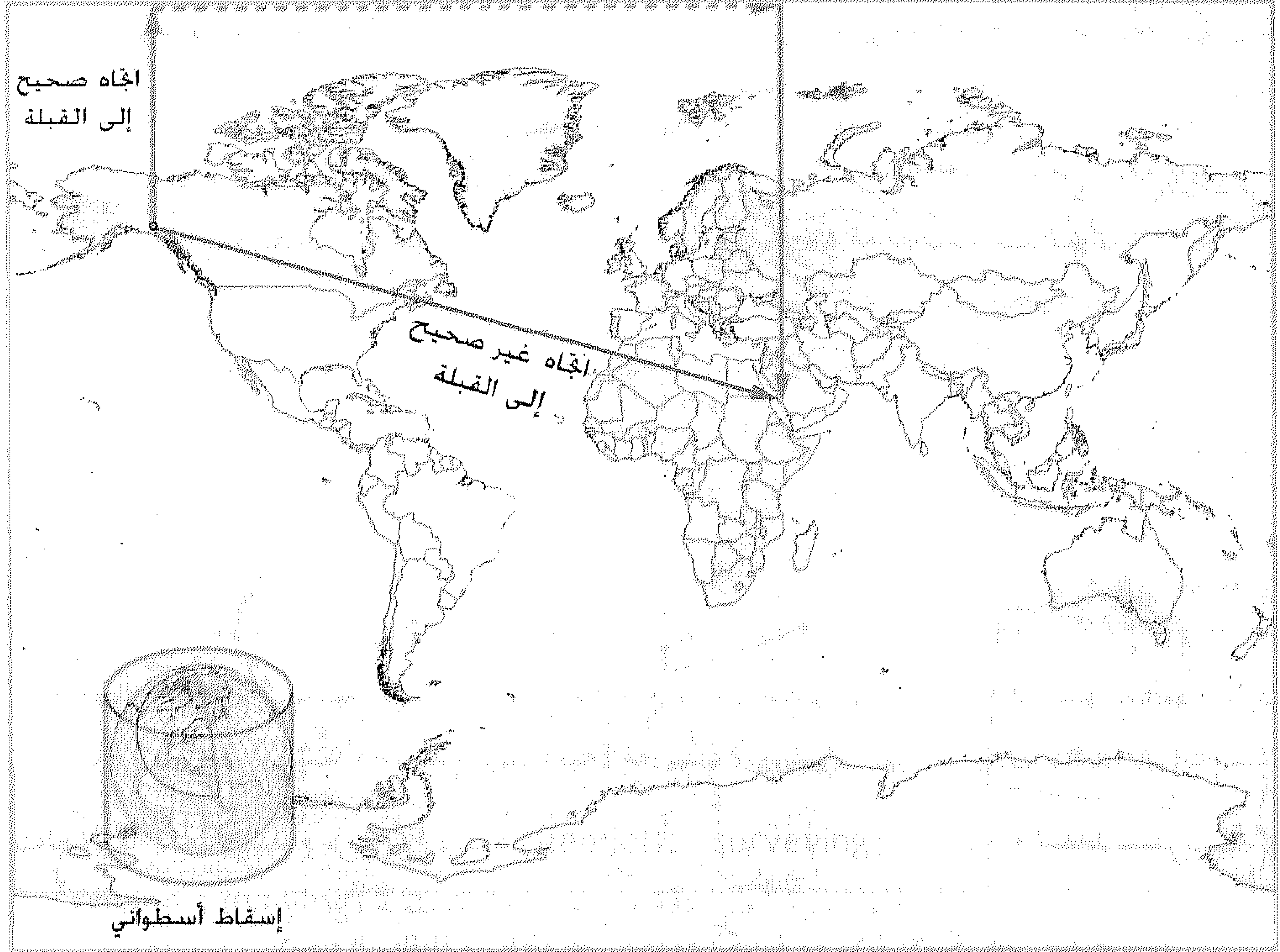
ولهذا السبب ظهرت أنواع عديدة من طرق الإسقاط بغية الحفاظ على بعض خصائص شكل الأرض على حساب الخصائص الأخرى في الخريطة المسطحة؛ المساحة أو المسافة أو الاتجاه. وبما أن الغرض من الخريطة يختلف حسب الاستخدام، علينا أن ننتبه جيداً إلى نوع التشوّه الذي تعاني منه الخريطة التي نستخدمها.



الشكل 1-15 تتسبب طرق الإسقاط بتشوّه السطح ثلاثي الأبعاد

إذا أردنا قياس المسافات على خريطة فيجب أن يكون إسقاط الخريطة من النوع الذي يحافظ على صحة المسافات، وإذا أردنا قياس المساحات فيجب أن يكون إسقاط الخريطة من النوع الذي يحافظ على صحة المساحات، وإذا أردنا تحديد الاتجاه على الخريطة فيجب أن يكون إسقاط الخريطة من النوع الذي يحافظ على صحة الاتجاه.

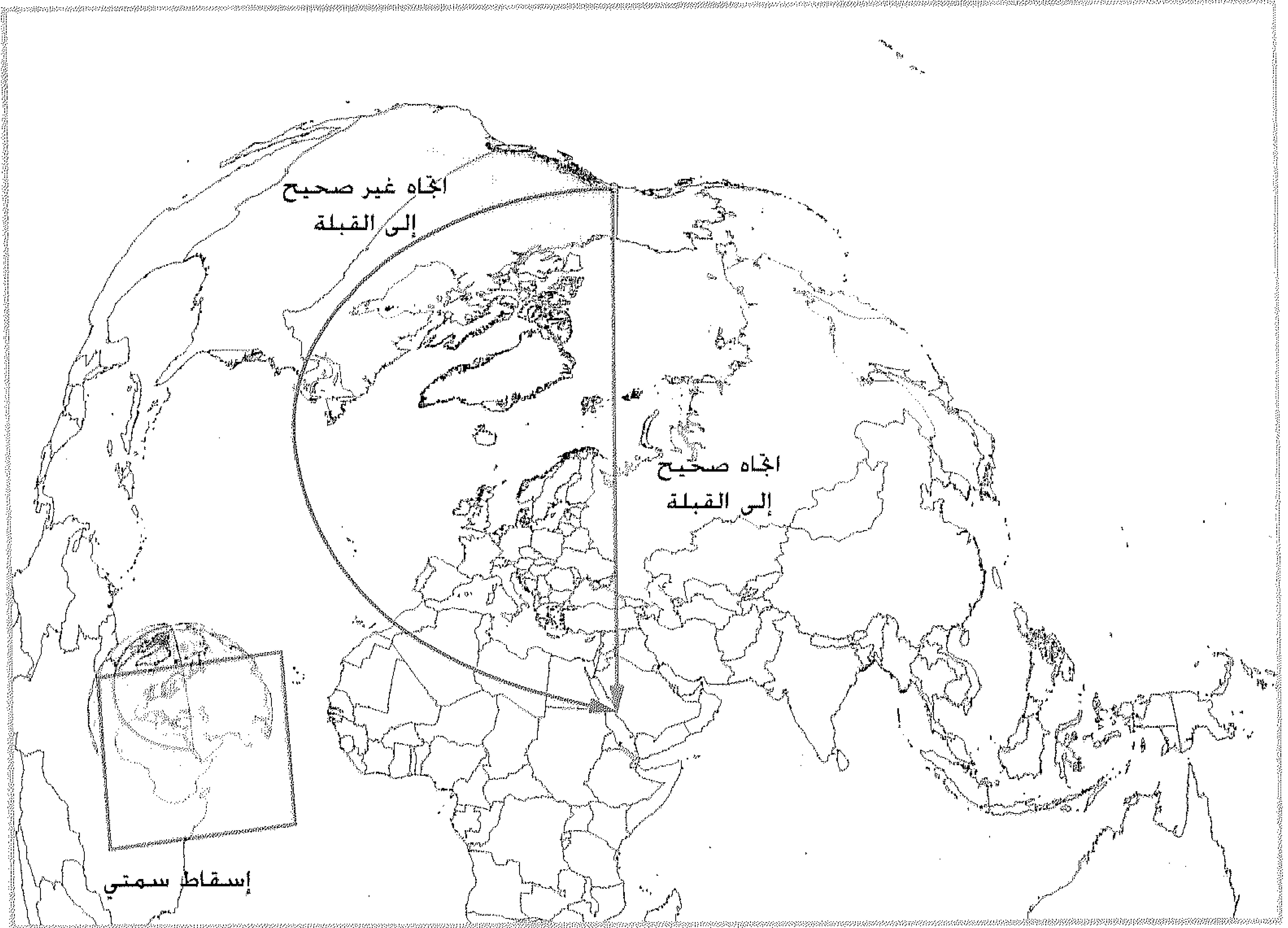
يبين المثال التالي خريطة في **إسقاط أسطواني** (cylindrical projection)، وهو إسقاط لا يحافظ على صحة الاتجاه. في الشكل أيضاً اتجاهان إلى القبلة من نقطة على الحدود الكندية مع ولاية ألاسكا، الخط الأحمر يبين اتجاهاً غير صحيح للقبلة، وهو الاتجاه الذي يقفز إلى أذهاننا للوهلة الأولى، بينما يبين الخط الأخضر الاتجاه الصحيح والوحيد إلى القبلة من تلك النقطة:



الشكل 1-16 الاتجاه إلى القبلة من نقطة على الحدود الكندية مع ولاية ألاسكا على إسقاط أسطواني

الاتجاه غير الصحيح إلى القبلة في الشكل أعلاه ناتج من وصل خط مستقيم (الأحمر) بين تلك النقطة ومكة على الرغم من أن الخريطة لا تحافظ على صحة الاتجاه، كما أن الخط الأحمر هو قوس في الواقع ولكنه يظهر مستقيماً على الخريطة بسبب الإسقاط الأسطواني. المصلي بهذا الاتجاه يصلي في الحقيقة إلى المحيط الهادئ ولا يصلي إلى مكة. أما الخط الأخضر فهو الخط المستقيم الوحيد والأقصر الذي يصل بين مكة المكرمة وتلك النقطة. يبدو الخط الأخضر وكأنه ثلاث قطع لكنه في الحقيقة قطعة واحدة، والجزء المتقطع منه في الحافة العليا للخريطة غير موجود على الأرض وطوله صفر، لأن كامل الحافة العليا للخريطة ما هي إلا نقطة القطب الشمالي التي تشوهت جداً في الإسقاط الأسطواني وأصبحت بطول خط الاستواء (انظر 4.5 تحديد اتجاه القبلة).

في المقابل، يحافظ الإسقاط السَّمتي (azimuthal projection) دون بقية أنواع الإسقاط الأخرى على صحة الاتجاه، وبالتالي يمكن فهم الاتجاه الصحيح إلى القبلة على الخريطة من أي بقعة في العالم إذا كانت الخريطة تعتمد إسقاطاً سمتياً وكانت الكعبة المشرفة في مبدأ الإسقاط.



الشكل 1-17 الاتجاه إلى القبلة من نقطة على الحدود الكندية مع ولاية ألاسكا على إسقاط سمتي

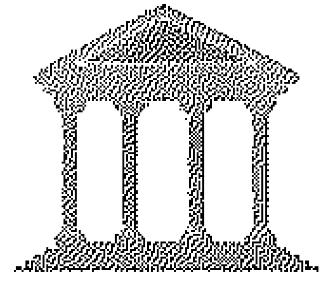
يبين الشكل أعلاه خريطة تعتمد الإسقاط السمتي، وتقع مكة في مبدأ هذا الإسقاط، ما يعني أنه يمكن تحديد اتجاه القبلة من أي موقع في العالم بمجرد وصل خط مستقيم بينه وبين مكة. الخط الأخضر يبدو على حقيقته؛ خط مستقيم يصل مباشرة بين تلك النقطة على الحدود بين كندا وولاية ألاسكا، ونتبين في الشكل أيضاً حقيقة الخط الأحمر الذي لا يعدو أن يكون قوساً لا يصلح لتحديد الاتجاه.

1.4. الحصول على الإحداثيات

تُجمع الإحداثيات عادة في إطار عملية أشمل هي جمع البيانات المكانية، وتتضمن هذه العملية

بالإضافة إلى تسجيل الإحداثيات جمع السِّمات التي تصف خصائص هذه البيانات. مثلاً، عند جمع بيانات أعمدة الإنارة في الشوارع تُسجّل إحداثيات مركز قاعدة كل عمود في صورة عرض وطول (φ, λ) أو شرقيات وشماليات (E, N) وتجمع سمات كل عمود مثل الرقم التسلسلي، تاريخ التركيب، نوع العمود، الخ، وبذلك نحصل على مجموعة البيانات المكانية لأعمدة الإنارة.

نبين في الفقرات التالية باختصار بعض الطرق الرئيسية المستخدمة في جمع البيانات المكانية وبالتالي الحصول على الإحداثيات.



تختلف الأساليب المستخدمة في مشروعات جمع البيانات المكانية فيما بينها من حيث الوقت والتكلفة المطلوبة لإنجاز هذه المشروعات من جهة، ومن حيث الدقة المكانية التي يمكن أن توفرها هذه الأساليب، ويجب على مدير المشروع انتقاء الطريقة التي تناسب نوع البيانات المكانية والهدف من جمعها.

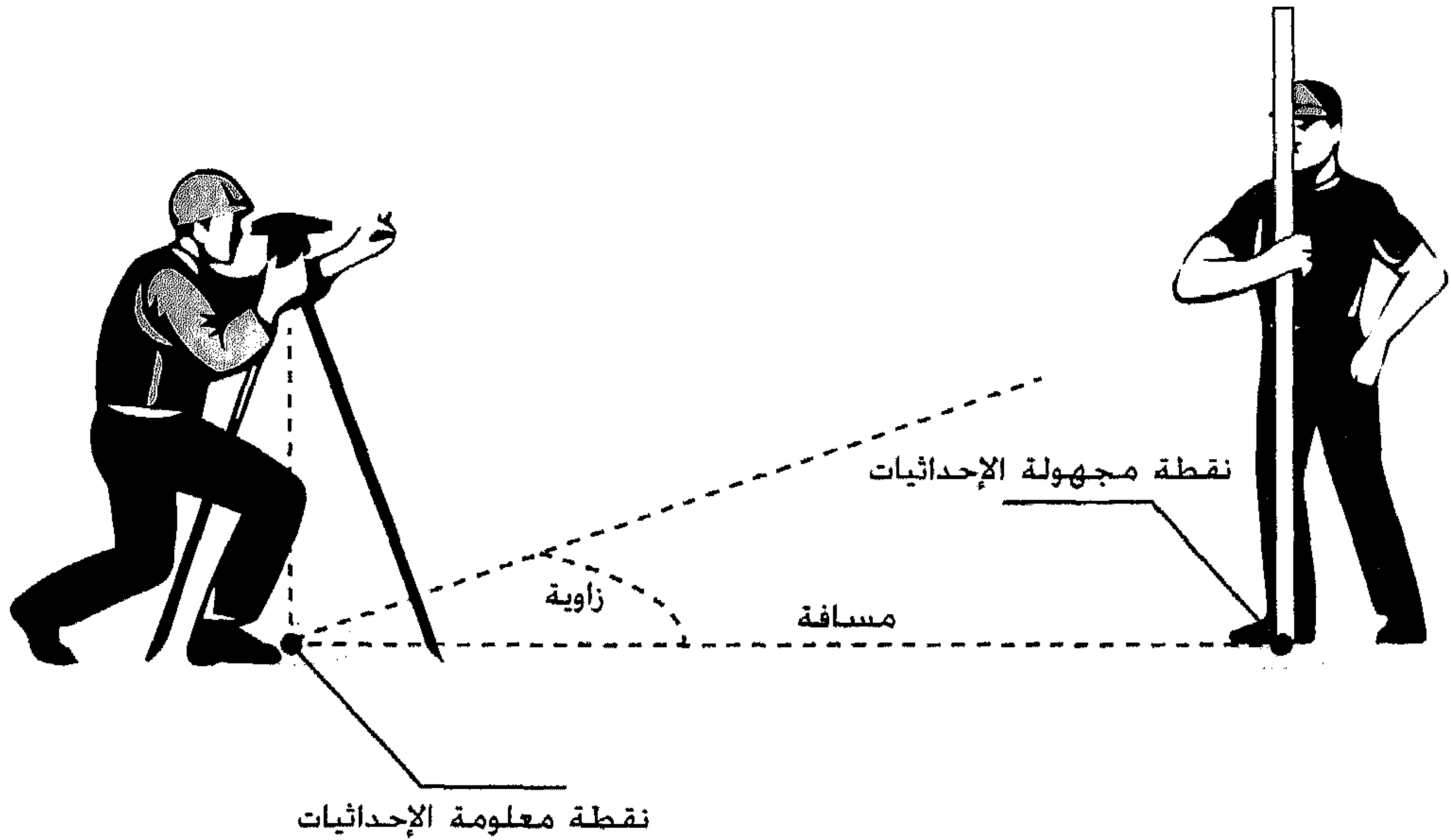
1.4.1. المساحة

تُقاس مواقع النقاط على الأرض بدقة باستخدام التقنيات وأجهزة القياس والأدوات المتوفرة في المساحة (surveying) بفرعيها الرئيسيين؛ المساحة الجيوديسية والمساحة المستوية.

لا تهمل المساحة الجيوديسية (geodetic surveying) انحناء الأرض، ولذلك تُعدّ القياسات المأخوذة بأساليب المساحة الجيوديسية أعلى دقة من المساحة المستوية (plane surveying) التي تتعامل مع مساحات محدودة وتهمل انحناء الأرض فيها، مع العلم أن الأعمال التي تُنفّذ باستخدام أساليب المساحة المستوية - وتمثل الجزء الأكبر من الأعمال المساحية - تعتمد على الشبكة الجيوديسية الوطنية التي تقوم المساحة الجيوديسية بإنشائها (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية).

تنقسم المساحة إلى فروع عديدة منها:

- **المساحة العقارية** أو **المساحة التفصيلية** (cadastral surveying): تُعنى بقضايا ملكية العقارات، بما في ذلك قياس وترسيم الحدود بين الملكيات.
- **المساحة الطوبوغرافية** (topographic surveying): تهدف إلى جمع البيانات ذات الصلة بمواقع المعالم الطبيعة والاصطناعية، وارتفاع تضاريس سطح الأرض بالنسبة إلى متوسط منسوب البحر.



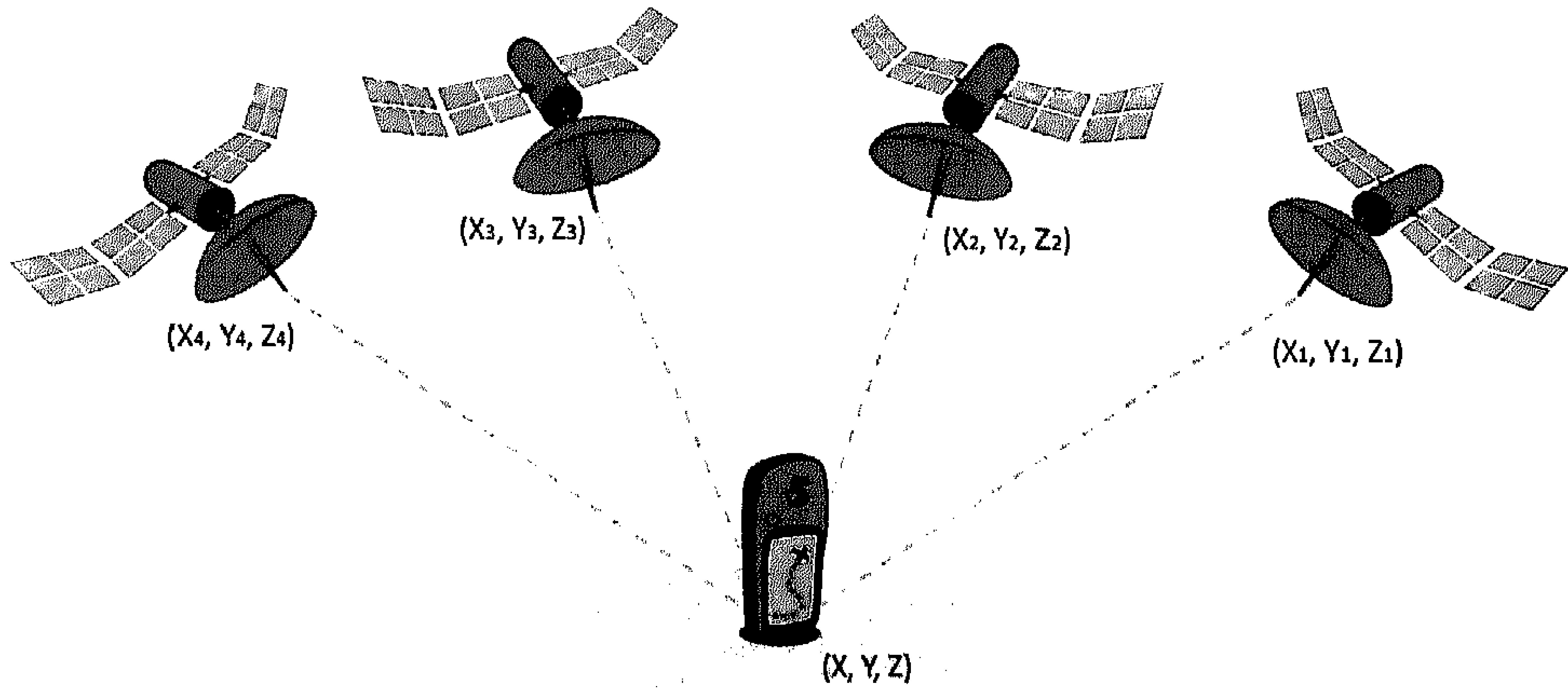
الشكل 1-18 قياس الإحداثيات باستخدام أساليب المساحة المستوية

- **المساحة الهندسية** (engineering surveying): قياس مواقع النقاط وارتفاعاتها في المشروعات الإنشائية المختلفة، مثل المباني والبنية التحتية مثل الطرق والسكك الحديدية والأنفاق والجسور.
- **المساحة المائية** أو **المساحة البحرية** (hydrographic surveying): تُعنى بدراسة التضاريس في أحواض الأنهر وقيعان البحار والمحيطات، بذات الطريقة التي تُعنى فيها المساحة الطوبوغرافية بدراسة التضاريس فوق سطح الأرض، وتهتم بقياس ورسم خرائط الشواطئ والسواحل وتحديد أعماق المناطق المائية بهدف توفير ملاحة آمنة وخدمة المشروعات الإنشائية البحرية وعمليات التنقيب عن النفط في البحر.
- **المساحة التصويرية** (photogrammetry): تستخدم الصور الملتقطة بالكاميرا وأجهزة الاستشعار عن بعد في إجراءات القياسات ورسم الخرائط، وتنقسم بدورها إلى مساحة تصويرية فضائية وجوية وأرضية.

يزداد استخدام النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية في الأعمال المساحية لما يوفره من سرعة وسهولة في رصد الإحداثيات بالمقارنة مع طرق المساحة التقليدية، مثل إجراء القياسات بفريق عمل صغير في ظروف جوية مختلفة، ودون الحاجة إلى قياس إحداثيات النقاط انطلاقاً من نقاط أخرى.

1.4.2. النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية

يتألف **النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية** (global navigation satellite system: GNSS) من مجموعة من الأقمار الاصطناعية التي تزود المستخدمين بخدمة تحديد الموقع. تقوم المستقبلات الإلكترونية بتحديد موقعها باستقبال الإشارات التي تتضمن معلومات تبثها الأقمار الواقعة في مجال رؤيتها.



الشكل 1-19 قياس إحداثيات النقطة باستقبال الإشارات من النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية

يبث القمر الاصطناعي، وبصورة مستمرة، إشارة تحمل معلومتين أساسيتين: هما الإحداثيات المدارية والوقت الذي كان فيه القمر لحظة بث الإشارة باعتماد ساعة ذرية بالغة الدقة. تنتشر الإشارة تلو الأخرى بسرعة الضوء ويقوم **المُستقبِل** (receiver) باستلامها، وبمقارنة توقيت بث الإشارة وتوقيت وصولها يمكن للجهاز حساب المسافة بين القمر الاصطناعي وجهاز الاستقبال. وبمعرفة المسافة بين المستقبل وعدد من الأقمار الاصطناعية يمكن حساب إحداثيات موقع المستقبل الأفقية والرأسية بأسلوب التثليث بالأضلاع، لكن الإحداثيات الرأسية المقيسة بالنظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية يجب تحويلها إلى ارتفاعات فوق متوسط منسوب البحر قبل استخدامها.

يمكن استخدام النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية لجمع البيانات المكانية، كما يستخدم في الملاحة وإرشاد السفن والطائرات وإغاثة المنكوبين الخ. تتوفر حالياً تطبيقات متعددة للنظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، أشهرها **نظام تحديد المواقع العالمي** (Global Positioning System: GPS) وهو النسخة الأمريكية وتقوم عليه معظم الاستخدامات المدنية

المعروفة، لكنه ليس الوحيد من نوعه عالمياً، فهنالك عدة أنظمة مماثلة مثل النسخة الروسية **جلوناس** GLONASS، بالإضافة إلى الأنظمة قيد التطوير والبحث مثل النسخة الأوروبية **جاليليو** Galileo، والنسخة الصينية **كومباس** Compass، بالإضافة إلى بعض النسخ المحلية التي تغطي منطقة جغرافية محدودة في الصين والهند واليابان.

يوفر النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية دقة موقعية تختلف باختلاف جهاز الاستقبال، وتراوح الدقة الموقعية الأفقية عند استخدام أجهزة الاستقبال العادية المحمولة باليد ومنخفضة الدقة بين 5 أمتار و 15 متراً، ونظراً لأهمية هذا النظام العالمي تتوفر مجموعة من التقنيات لتحسين الدقة الموقعية للإحداثيات المقيسة بهذا النظام، منها ما هو تقليدي مثل أخذ عدة قياسات للنقطة على فترات متباعدة وحساب متوسط القراءات، ومنها ما يعتمد على تجهيزات أو أنظمة متخصصة مثل:

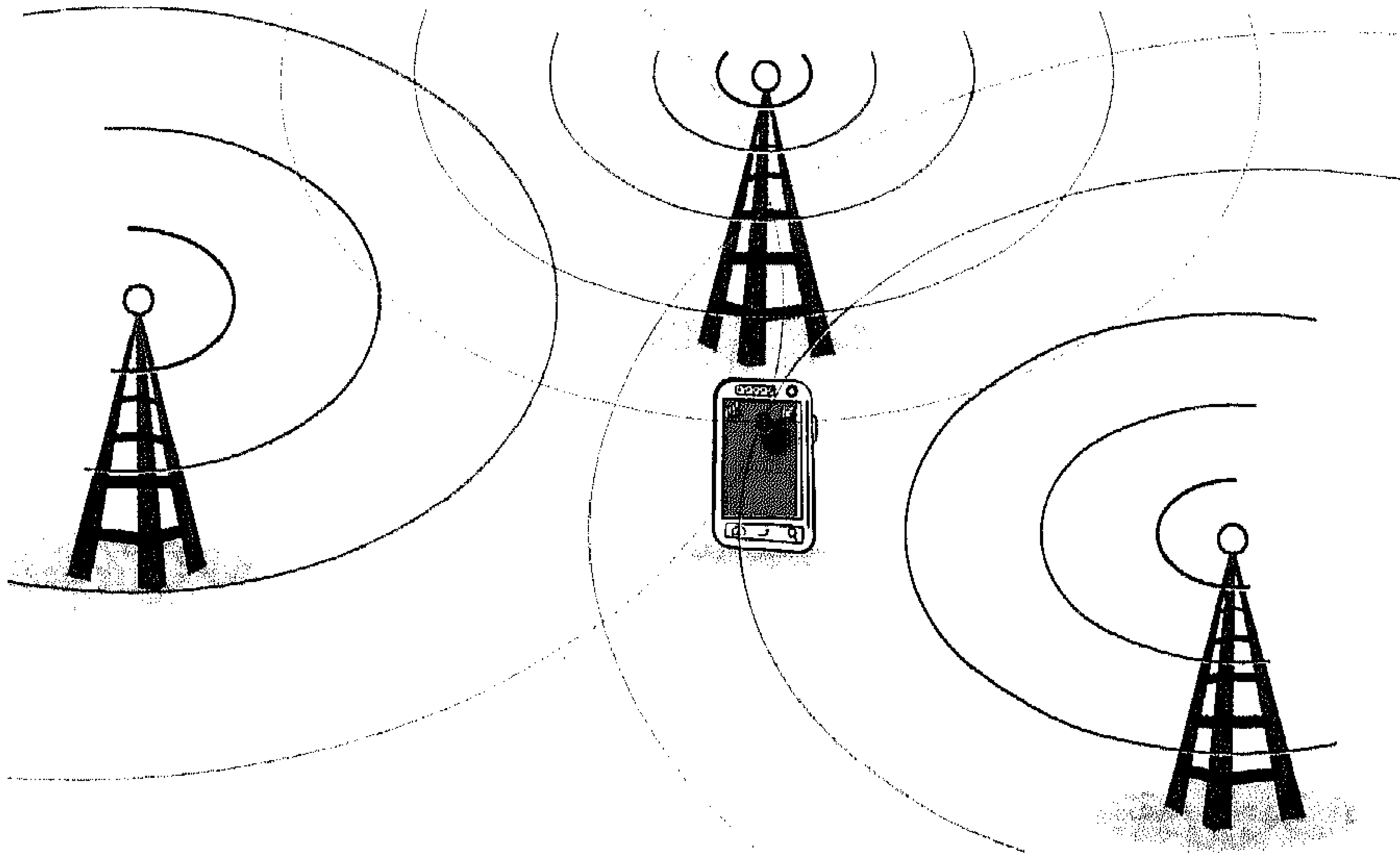
- **نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي** (Differential Global Positioning System: DGPS): توفر التقنية التفاضلية دقة موقعية تصل إلى أجزاء المتر، وتستخدم لتحسين دقة نظام تحديد المواقع العالمي محطات مرجعية أرضية معلومة الإحداثيات. تعتمد فكرة هذه التقنية على أن الخطأ في قياس الإحداثيات بنظام GPS متساو عند جميع النقاط في منطقة واحدة. تقيس المحطات المرجعية باستمرار قيمة الفرق بين إحداثياتها الحقيقية وبين إحداثياتها طبقاً لنظام تحديد المواقع العالمي وتبث الفرق بينهما فتستقبل المستقبلات هذه الإشارة وتقوم بإدخال التصحيح المطلوب على قياساتها في الوقت الحقيقي أو بمعالجة البيانات لاحقاً (post processing).
- **الرصد المتحرك في الوقت الحقيقي** (Real Time Kinematic: RTK): بالإضافة إلى التقنية التفاضلية، تعتمد هذه التقنية على قياسات طور الإشارة الحاملة (carrier phase) أي خصائص الإشارة الواردة من القمر الاصطناعي وليس المعلومات المتضمنة في الإشارة فقط، وتستخدم في الأعمال المساحية وتوفر دقة موقعية تصل إلى عدة ملّيمترات.
- **نظام تحديد المواقع العالمي المعزّز** (Assisted GPS: A-GPS or aGPS): تساعد هذه التقنية مستقبلات نظام تحديد المواقع العالمي في الهواتف الذكية على العثور على الأقمار الاصطناعية بسرعة من خلال معلومات تُبث عبر شبكة الهاتف بدلاً من انتظار إشارة الأقمار الاصطناعية التي يحتاج المستقبل إلى وقت طويل للوصول إليها وبخاصة عندما تكون الإشارة ضعيفة. في بعض الحالات يقوم نظام تحديد المواقع المعزز باستلام البيانات التي يستقبلها الهاتف الذكي ويعالجها لتحديد تحديد موقع الهاتف بالنيابة عنه.



من الأخطاء الشائعة استخدام عبارة نظام تحديد المواقع العالمي بدلاً من النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، ويشبه الأمر إطلاق كلمة "تايد" على كل مسحوق غسيل. إذا كنا نتحدث عن التقنية فلابد من استخدام عبارة النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، أما إذا كنا نتحدث عن نظام بعينه، فيمكن حينئذ أن نستخدم GPS أو GLONASS الخ. العبارة التالية صحيحة: "الهواتف الذكية تدعم النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية".

1.4.3. نظام تحديد المواقع المحلي

نظام تحديد المواقع المحلي (local positioning system: LPS) هو نظام لتحديد الموقع في نطاق تغطية محدود، على عكس النظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية. يستخدم نظام تحديد المواقع المحلي أسلوب **التثليث بالقطع الزائد** (multilateration or hyperbolic positioning)؛ أي تحديد موقع النقطة بقياس قوة الإشارة فيها من عدة محطات بث معلومة الإحداثيات، حيث تضعف الإشارة من محطة البث كلما ابتعدنا عنها وبالتالي فإن النسبة بين المسافات من النقطة إلى عدة محطات تساوي النسبة إلى قوة إشارة هذه المحطات في تلك النقطة.



الشكل 1-20 تحديد موقع الهاتف بالاعتماد على قوة الإشارة المستقبلة من أبراج الهواتف الخلوية

تكون **محطات الإرشاد** (beacons) في نظام تحديد المواقع المحلي محدودة المدى وتتطلب بالتالي أن يكون مستخدم النظام بالقرب منها، مثل أبراج الهواتف الخلوية، ويسمى **نظام تحديد المواقع المعتمد على الشبكة** (network based positioning)، أو نقاط وصول إنترنت اللاسلكية (Wi-Fi) ويسمى نظام **تحديد المواقع المعتمد على نقاط وصول إنترنت لاسلكية** (Wi-Fi-based positioning)، وأبراج البث الإذاعي.

تأتي أهمية نظام تحديد المواقع المحلي من حيث استخدامه مكملاً للنظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية، وبخاصة في المناطق التي تصل الإشارة إليها ضعيفة، وفي **نظام تحديد المواقع داخل المباني** (indoor positioning system: IPS) حيث لا تصل الإشارة، كما يستخدم النظام المحلي لتحديد موقع الهواتف المحمولة التي لا تدعم النظام العالمي.

1.4.4. الاستشعار عن بعد

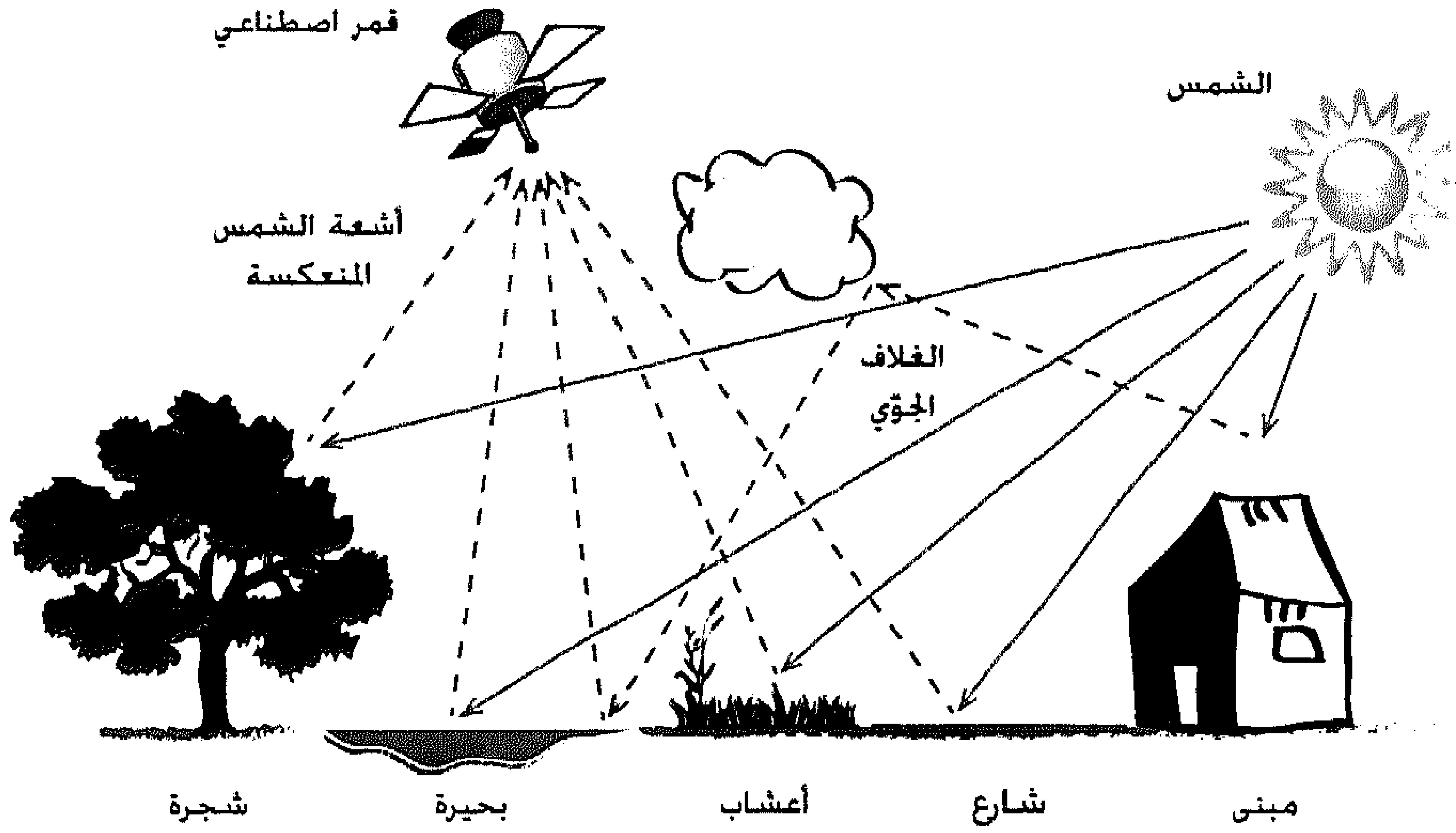
الاستشعار عن بعد هو "قياس أو اكتساب معلومات عن بعض خصائص كائن أو ظاهرة بجهاز تسجيل ليس على اتصال مادي أو حميم مع الكائن أو الظاهرة قيد الدراسة" (ASPRS, 1983).

يعتمد الاستشعار عن بعد اعتماداً كاملاً على تفاعل الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة من الأجسام المستهدفة. وتعكس هذه الأجسام أو تبعث الطاقة الكهرومغناطيسية بصور مختلفة اعتماداً على خصائصها الفيزيائية والكيميائية والحيوية، بحيث يكون لكل منها توقيعاً طيفياً فريداً، ويشكل هذا المبدأ الأساس للاستشعار عن بعد.

يستخدم الاستشعار عن بعد في:

- تنفيذ قياسات سريعة ودقيقة للمسافات والمساحات والارتفاعات.
- المراقبة الشاملة للتوزيع المكاني للظواهر على الأرض في مناطق شاسعة.
- دراسة الظواهر المتغيرة، والتسجيل الدائم للظواهر بحيث يمكن دراستها فيما بعد.
- تسجيل بيانات لا تستطيع العين رؤيتها، تقع خارج نطاق الأشعة المرئية.

ثمة نوعان رئيسيان من الاستشعار عن بعد؛ **الاستشعار السلبي عن بعد** (passive remote sensing) ويعتمد على تحسّس الإشعاع الطبيعي المنبعث أو المنعكس عن الكائن أو المناطق المحيطة به، ويُعدّ ضوء الشمس المنعكس من أهم مصادر الإشعاع التي تقوم أجهزة الاستشعار السلبي بقياسها، ومنها كاميرات التصوير، أجهزة الأشعة تحت الحمراء، و**الأجهزة مزدوجة الشحنة** (charge-coupled devices: CCD's)، و**مقاييس الإشعاع** (radiometers).



الشكل 1-21 مبدأ عمل الاستشعار السلبي عن بعد

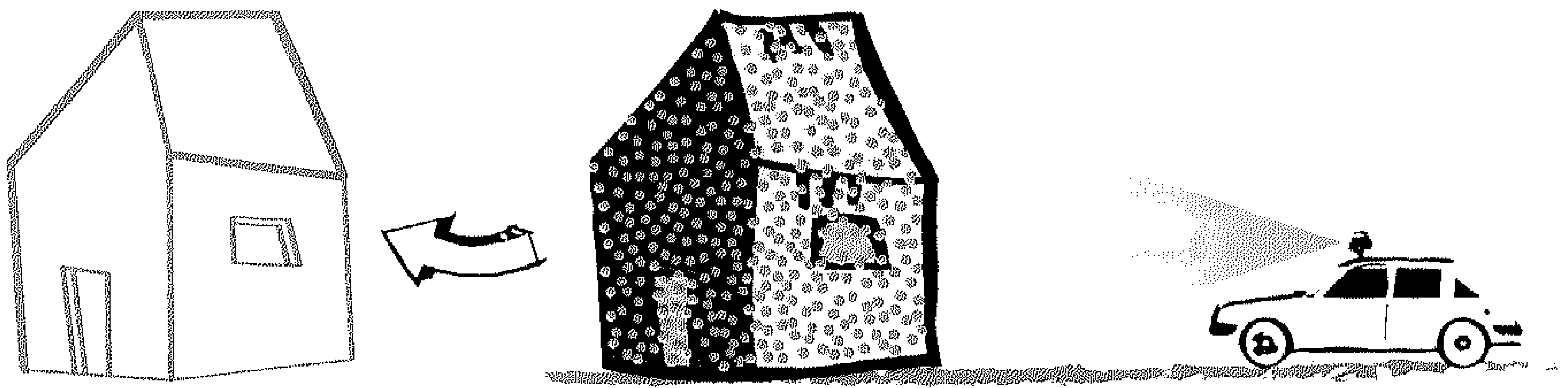
أما النوع الثاني من الاستشعار عن بعد فهو **الاستشعار النشط عن بعد** (active remote sensing)، حيث تقوم أجهزة الاستشعار النشط بإطلاق الطاقة ومن ثم قياس الإشعاع الذي ينعكس عن الهدف. ومن هذه التقنيات **الرادار** (radio detection and ranging: RADAR) أي الكشف والسبر بالراديو، **واللَّيْدار** (light detection and ranging: LIDAR) أي الكشف والسبر بالضوء، ويسمى أيضاً **اللادار** (laser detection and ranging: LADAR) أي الكشف والسبر باللايزر. يُقاس التأخير الزمني في تقنيتي الرادار واللّيْدار بين إطلاق الإشعاع وعودته لحساب موقع وسرعة واتجاه الكائن.

تُحمل أجهزة الاستشعار عن بعد على قمر اصطناعي أو طائرة أو **طائرة بدون طيار** (unmanned aerial vehicle: UAV) أو منطاد، أو تكون على الأرض مثبتة في منطقة الدراسة، أو متحركة مع مركبة تسير على الأرض، الخ، كما تختلف البيانات الناتجة من الاستشعار عن بعد حسب التقنية المستخدمة في جمع البيانات.

عند استخدام كاميرات التصوير المحمولة على طائرة، مثلاً، تكون البيانات الناتجة من الاستشعار عن بعد **صوراً جوية** (aerial photos)، وتضطلع **المساحة التصويرية** (photogrammetry) بمهمة إدخال مجموعة من التصحيحات المطلوبة على هذه الصور وربط الإحداثيات عليها بما يقابلها من إحداثيات على الأرض في النظام المرجعي المعتمد، وعندما تكون الصورة **صورة**

مصححة عمودياً (orthophoto) يمكن قياس أو استخراج البيانات المكانية من الصورة مباشرة.

أما عند استخدام تقنية الليدار تكون البيانات الناتجة من الاستشعار عن بعد **نموذج سطح رقمياً** (digital surface model: DSM) أو **سحابة نقطية** (point cloud)، وتُستخرج البيانات المكانية من السحابة النقطية بتقنيات تسمى **إعادة إنشاء السطح** (surface reconstruction) وتتضمن استخدام **المرشّحات** (filters) **والخوارزميات** (algorithms) للتعرف على الحواف وإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للكائنات انطلاقاً من ملايين النقاط ثلاثية الأبعاد.

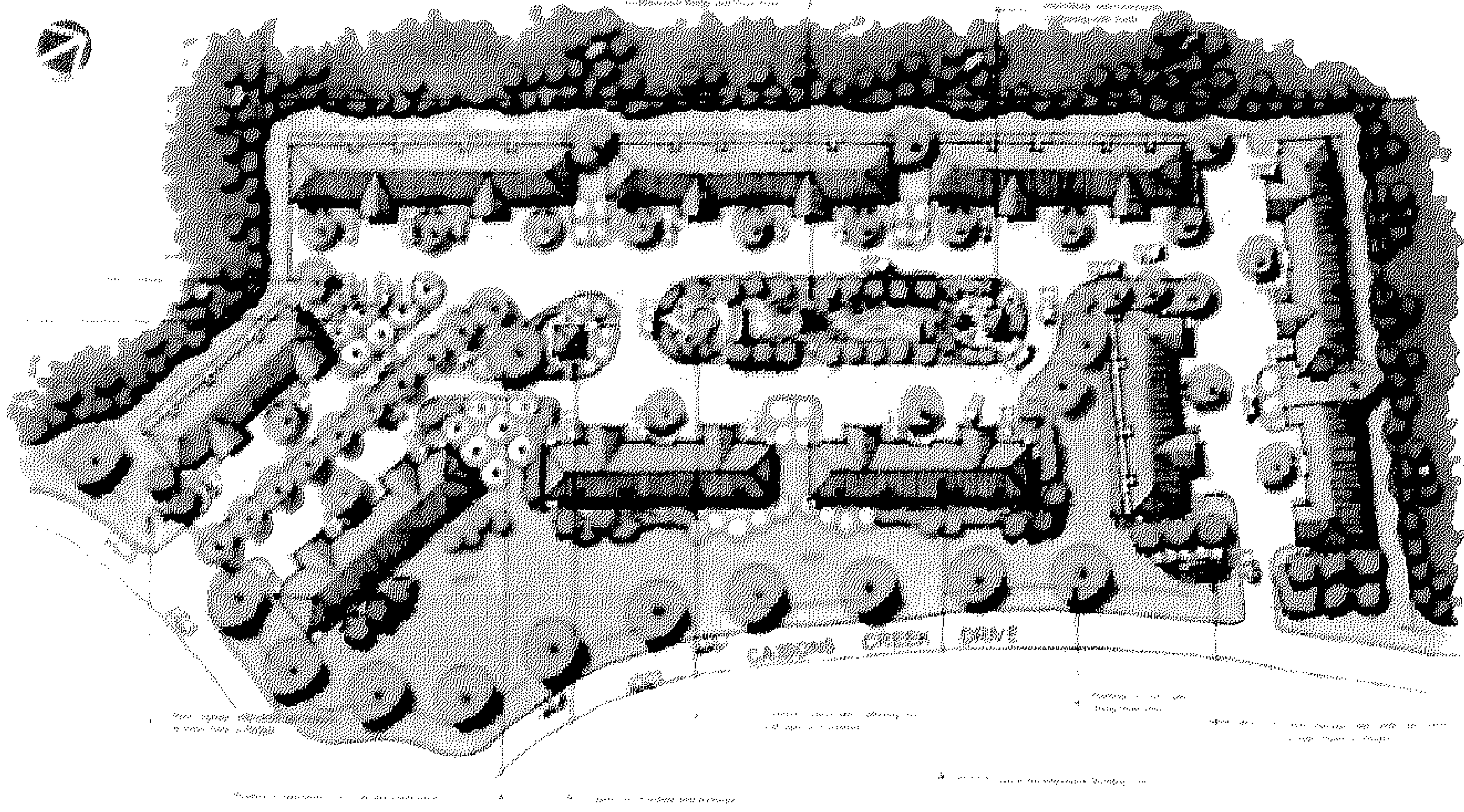


الشكل 1-22 تستخدم تقنية الليدار الأرضية في جمع البيانات المكانية بسرعة وفي دقة عالية

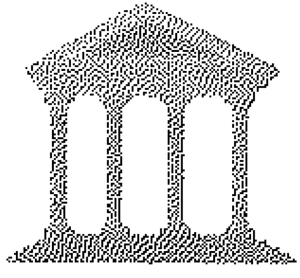
.1.4.5 برامج التصميم بالحاسوب (CAD)

تُستخدم **برامج التصميم بالحاسوب** (computer aided design: CAD) بصورة رئيسية في تصميم مشروعات التخطيط العمراني والبناء والبنية التحتية. تمر هذه البيانات بمرحلتين: **رسوم التصميم النهائي** (final design drawings) وهي البيانات التي تتوفر بعد الانتهاء من عملية التصميم والحصول على موافقة مالك المشروع للبدء بتنفيذه، أما المرحلة الثانية فهي **الرسوم طبق التنفيذ** (as-built drawings) وتكون بعد الانتهاء من تنفيذ المشروع وإدخال ما يلزم من تعديلات على رسوم التصميم النهائي بحيث تعكس التغييرات التي حصلت في الموقع لأسباب مختلفة.

وتُعدّ البيانات الناتجة من عملية تصميم المشروعات وتنفيذها باستخدام برمجيات التصميم بالحاسوب من المصادر المهمة للحصول على البيانات المكانية، وبالتالي الإحداثيات، وإن كان ذلك لا يُعد من طرق قياس الإحداثيات كما في المساحة والنظام العالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية. إذ تقوم برامج التصميم بالإحداثيات بإنشاء البيانات المكانية لمعالم نُخطط إلى إيجادها ونبنيها لاحقاً على سطح الأرض، بينما تقوم الطرق الأخرى بقياس الإحداثيات لمعالم قائمة بالفعل.



الشكل 1-23 أنظمة التصميم بالحاسوب (CAD) هي إحدى أهم مصادر البيانات المكانية (الموقع العام عن Overlook at Caison's Creek)

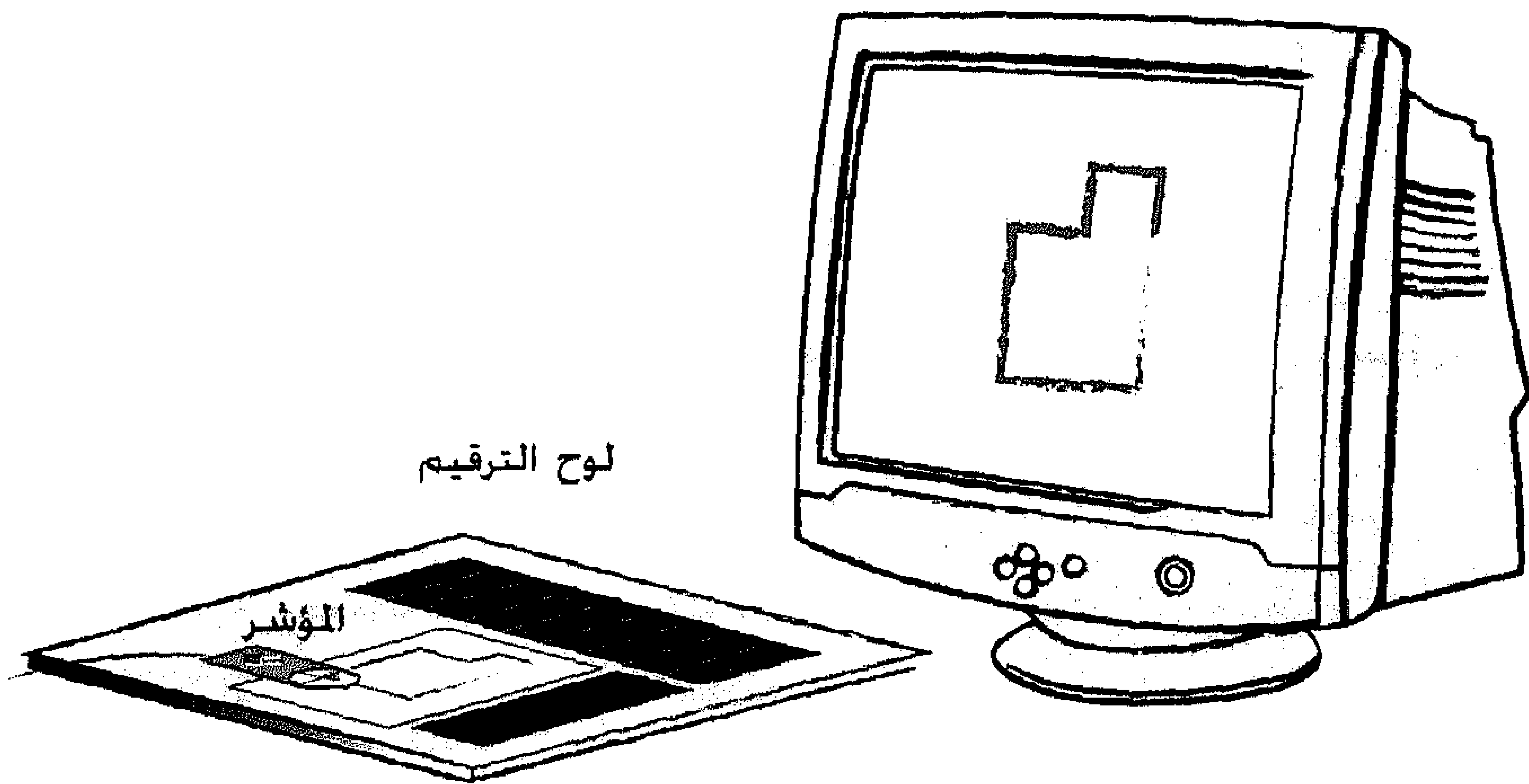


تستخدم أنظمة التصميم بالحاسوب في الشركات الاستشارية نظاماً مرجعياً هندسياً للإحداثيات، إذ يبدأ الرسّام عادة بإنشاء المخطط من أي نقطة على شاشة البرنامج، ويمكن قبول ذلك إذا كانت هذه المخططات والرسوم ستستخدم بصورة منفصلة أو معدة للاستخدام الداخلي. لكن أفضل الممارسات تقضي بأن تشرف البلديات وقطاع البنية التحتية والخدمات على وضع مواصفات قياسية لرسوم التصميم بالحاسوب لتسهيل تبادل البيانات وإدراجها في موقعها الصحيح في قاعدة البيانات المكانية. ومن هذه الممارسات منح الشركة الاستشارية قيم إحداثيات منطقة الدراسة بحيث يبدأ الرسّام عملية التصميم داخل حدودها، بالإضافة إلى مواصفات قياسية أخرى تتعلق بأسماء الطبقات والرموز المستخدمة وذلك لأتمتة استيراد هذه المخططات والرسوم إلى قاعدة البيانات المكانية في البلدية بصورة تلقائية.

وعادة ما تقوم البلديات والجهات الأخرى العاملة في قطاع البنية التحتية والخدمات مثل المواصلات والكهرباء والمياه والصرف الصحي والاتصالات بتحديث قاعدة بياناتها المكانية بالاعتماد على البيانات المكانية الناتجة من هذه المشروعات. بالإضافة إلى ذلك تُعدّ بيانات التصميم بالحاسوب من المصادر المهمة في صيانة وتحديث **نموذج المدينة ثلاثي الأبعاد** (3D city model).

1.4.6. الترقيم

يمكن إنشاء البيانات المكانية الرقمية من خريطة أخرى مطبوعة بتعقّب المعالم باستخدام **المُرقِّم** (digitizer) الذي يسمى أيضاً **لوح الترقيم** (digitizing tablet)، ويكون ذلك بتثبيت الصورة الجوية أو الخريطة المطبوعة أو المرسومة فوق لوح الترقيم واستخدام **المؤشِّر** (puck) الموصول به فيتحسس لوح الترقيم حركة المؤشر أثناء تعقب المعالم ويقوم بإنشائها في برمجيات التصميم بالحاسوب أو نظام المعلومات الجغرافية، وبالتالي الحصول على نسخة رقمية منها.



الشكل 1-24 استخدام المرقِّم في إنشاء نسخة رقمية من خريطة مطبوعة

وقبل البدء بإنشاء البيانات المكانية يجب **معايرة** (calibration) المرقِّم بتعريف الإحداثيات الصحيحة لنقاط معلومة الإحداثيات في الخريطة أو الصورة الجوية المطبوعة وذلك لاستنتاج إحداثيات النقاط الأخرى الواقعة بين تلك النقاط معلومة الإحداثيات، حيث تعتمد معايرة المرقِّم بصورة أساسية على طرق التحويل (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).

عندما يقوم المستخدم بتعقب البيانات المكانية يدوياً فوق خرائط رقمية معروضة ضمن شاشة برنامج التصميم بالحاسوب أو نظام المعلومات الجغرافية يسمى هذا النوع من الترقيم **الترقيم القائم** (heads-up digitizing) لأن المستخدم لا يضطر أثناء ذلك إلى النظر إلى الأسفل باتجاه لوح الترقيم لالتقاط النقاط، ويتميز الترقيم القائم بإمكانية **التقريب/التبعيد** (zoom) بحيث يحدد المستخدم النقاط بدقة عالية من الخريطة المعروضة على الشاشة.

ومع أن البيانات الحديثة تُنجز بتقنيات أحدث من عملية الترقيم، إلا أن حجماً كبيراً من مهام إنشاء البيانات المكانية في تاريخ برمجيات التصميم بالحاسوب ونظام المعلومات الجغرافية قد أُنجز بترقيم البيانات يدوياً.

1.5. الإسناد المكاني باستخدام المعرّفات الجغرافية

بصورة عامة، يمكن تنفيذ **الإسناد المكاني** (spatial referencing) للمعالم أي تعريف موقعها الجغرافي بطريقتين:

- باستخدام الإحداثيات (وهو موضوع هذا الكتاب): يُعرَّف الموقع باستخدام قيم الإحداثيات، مثل خط العرض وخط الطول. يقع برج إيفل (Eiffel Tower) مثلاً في نقطة إحداثياتها:

$$\varphi = 48.8583°N$$
$$\lambda = 2.2945°E$$

- باستخدام **المعرّفات الجغرافية** (geographic identifiers): يُعرَّف الموقع باستخدام نص يصف هذا الموقع مثل العنوان. ويمكن بذلك إسناد برج إيفل مكانياً بقولنا أنه يقع في "أقصى الشمال الغربي لحديقة شان دي مارس (Champ de Mars) في باريس في فرنسا".

ومع أن الإسناد المكاني باستخدام المعرّفات الجغرافية لا يقع ضمن موضوع هذا الكتاب، إلا أنه من الضروري تقديم معلومات عامة عن هذا النوع من الإسناد المكاني وذلك لتعريف القارئ بكيفية استنتاج الإحداثيات من معلومات نصّية، قد تبدو للوهلة الأولى، معلومات غير مكانية.

وعموماً تستخدم العلاقات التالية في الإسناد بالمعرّفات الجغرافية:

- علاقة احتواء: تقع القاهرة في مصر.
- قياسات محلية: يقع مركز التسوق على الجهة اليمنى من شارع السلام على بعد 5 كلم من دوّار (ميدان) الوحدة.
- علاقة مُبهمة: يقع مستشفى ابن سينا بالقرب من حديقة الأندلس.

وتتوفر مجموعة من الطرق التي يمكن من خلالها استنتاج إحداثيات هذه المواقع من المعرّفات الجغرافية، عندما تتوفر بيانات مكانية ذات صلة.

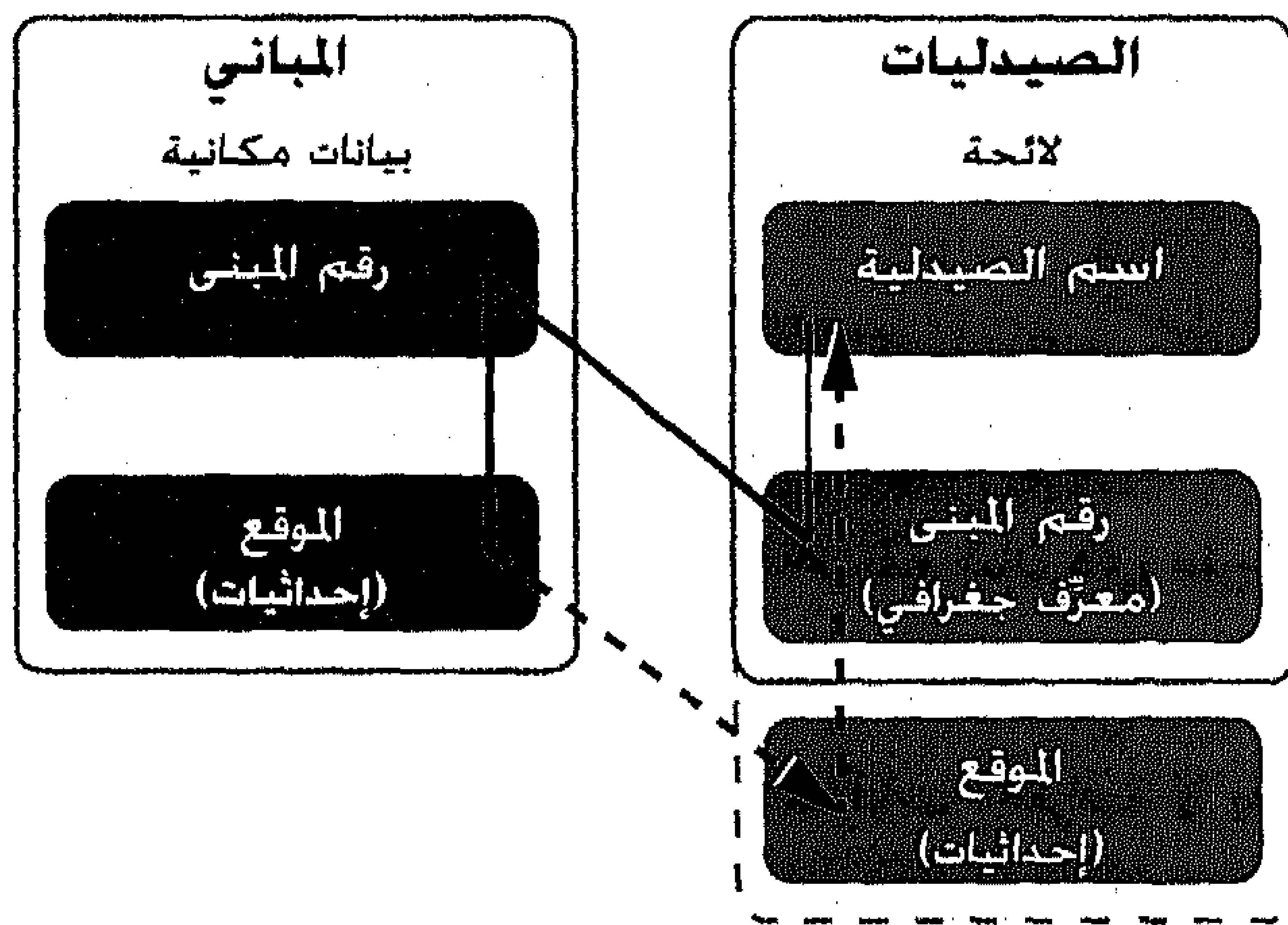
1.5.1. الترميز الجغرافي

الترميز الجغرافي (geocoding) هو تحديد أو استنتاج قيم الإحداثيات لمعالم مُسنَدة مكانياً باستخدام معرّفات جغرافية، ويعتمد استنتاج قيم الإحداثيات على توفر معلومات عن مواقع هذه المعرّفات.

إذا كانت البيانات المكانية للصيدليات في مدينتك مثلاً غير متوفرة، ولكن الجهة المختصة تمتلك لائحة تفصيلية بهذه الصيدليات تتضمن أسماءها وأرقام المباني التي تقع فيها، فهذا يعني أن الصيدليات مُسنَدة مكانياً باستخدام معرّف جغرافي هو رقم المبنى.

يمكننا إذاً استنتاج إحداثيات الصيدليات بالاستعانة ببيانات المباني، ويكون ذلك بمطابقة رقم المبنى في بيانات الصيدليات مع رقم المبنى في البيانات المكانية للمباني.

يعتمد هذا المثال على **ربط** (relate) حقلين من جدولين مختلفين وهي ممارسة شائعة في قواعد البيانات، لكن مفهوم الترميز الجغرافي هو مفهوم أوسع ويشمل تحليل المعلومات النصية التي تصف موقعاً وتحويلها إلى إحداثيات، ويمكن أن تكون هذه المعلومات عنواناً بريدياً أو اسم مكان الخ.



الشكل 1-25 استخدام الترميز الجغرافي للحصول على إحداثيات الصيدليات من إحداثيات المباني



تتوفر مجموعة من **أدوات الترميز الجغرافي** (geocoders) الفورية على إنترنت. يمكن استخدام الرابط التالي مثلاً للحصول على الإحداثيات لأي عنوان في الولايات المتحدة:

http://geocoder.us

1.5.2. المعجم الجغرافي

المعجم الجغرافي (gazetteer) هو دليل للمعرّفات الجغرافية التي تصف المواقع مثل الحدود الإدارية (أسماء الدول والمدن والأحياء) وأسماء المباني والشوارع بالإضافة إلى أسماء المعالم الطبيعية مثل الجبال والهضاب والوديان والآبار الخ.

المثال التالي يبين الاستعلام عن سبخة الطابية في المعجم الجغرافي على موقع وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية الأمريكية (National Geospatial-Intelligence Agency: NGA):

http://geonames.nga.mil/ggmagaz

تقع هذه **السبخة** (sabkha or salt pan) على الحدود الجزائرية مع ليبيا، وتمتد على مسافة 5 كلم بعرض 1.5 كلم:

GNS Basic View	
Name (Gazetteer Order):	Tābīyah, Sabkhat aţ (Approved)
Name (Reading Order):	Sabkhat aţ Tābīyah
Short Name:	NULL
Feature Designation:	NULL
DMS Lat:	30°05'00"N
DMS Long:	009°24'00"E
Country Name (Code):	Algeria (AG)
ADM1 Name (Code):	Illizi (46)
Generic:	Sabkhat
Language Name (Code):	NULL

الجدول 1-4 نتائج الاستعلام عن سبخة الطابية في معجم NGA الجغرافي

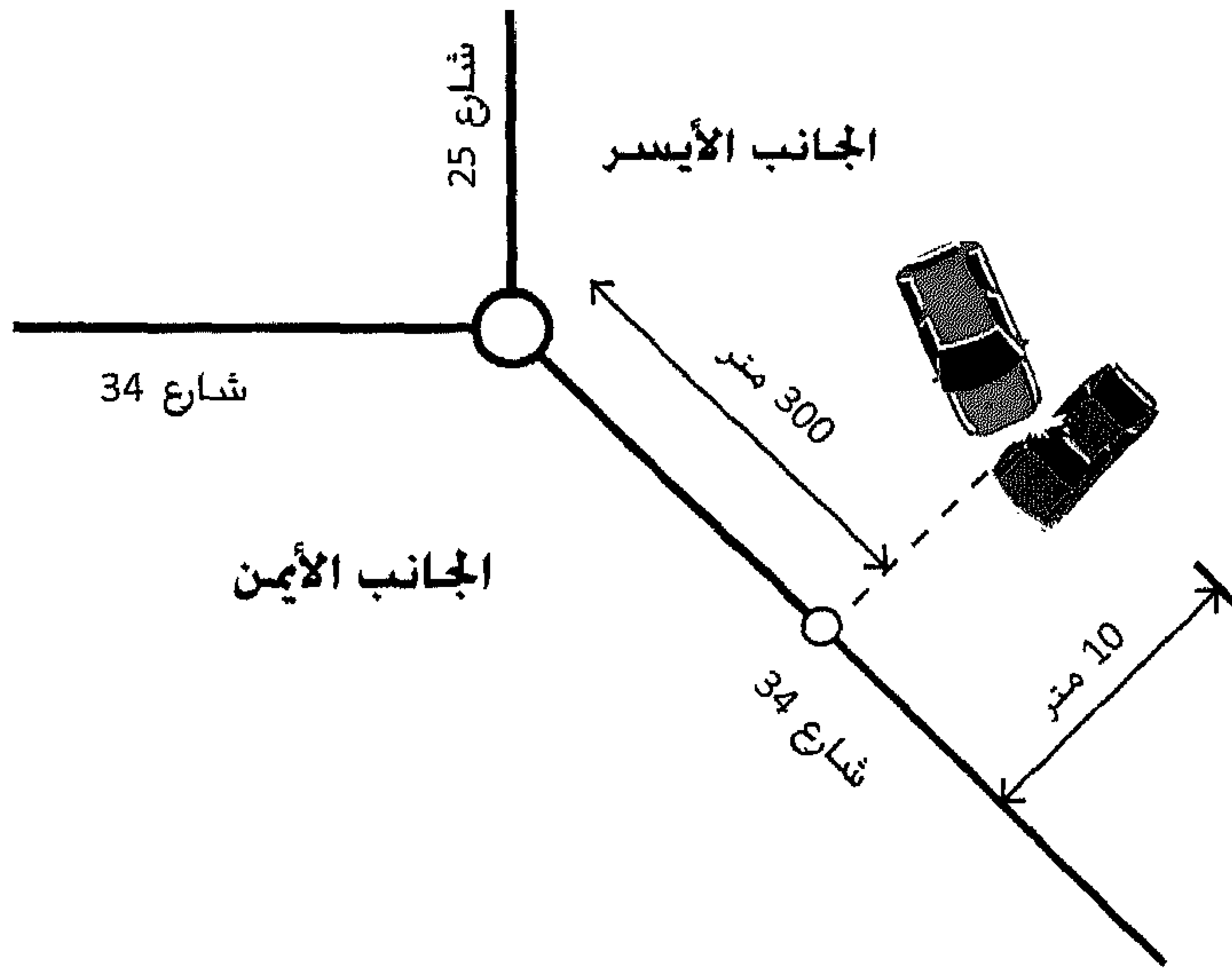
حصلنا في هذا الاستعلام على الإحداثيات الجغرافية لسبخة الطابية في صورة خط عرض وطول، لكن سبخة الطابية منطقة جغرافية كبيرة تغطي 6 كيلومترات مربعة. ولذلك تعتمد الدقة الموقعية للإحداثيات المستنتجة من المعرّف الجغرافي على الحدود الجغرافية للمعرّف، وكلما كانت الحدود الجغرافية صغيرة أمكن تحديد الإحداثيات بدقة أكبر، والعكس بالعكس.

1.5.3. نظام الإسناد الطولي

نظام الإسناد الطولي (linear referencing system: LRS) هو طريقة أخرى من طرق الإسناد المكاني باستخدام المعرّفات الجغرافية ويعتمد بالكامل على القياسات المحلية التي تُنفَّذ على طول

معالم خطّية مثل الشوارع وخطوط الخدمات الخ.

المثال التالي يصف موقع حادث مروري، ويُعبّر عن هذا الموقع بأنه على بعد 10 أمتار على الجانب الأيسر بموازاة محور منتصف الشارع 34، على مسافة 300 متر من تقاطع هذا الشارع وشارع 25. ويستخدم الترميز الجغرافي في استنتاج إحداثيات هذا النوع من المواقع بقياس المسافات على طول شبكة الطرق ابتداءً من نقطة معروفة الإحداثيات مثل تقاطع الشارعين في هذا المثال.



الشكل 1-26 نظام الإسناد الطولي

الفصل 2

المواصفات القياسية للإحداثيات

يتوفر العديد من المواصفات القياسية ذات الصلة بالتقنيات والبيانات والخدمات المكانية، نتناول منها المواصفات القياسية ذات الصلة بموضوع الكتاب؛ أي الإحداثيات والعمليات عليها.

نناقش في هذا الفصل المواصفات القياسية التي طورتها جهات دولية وهيئات وطنية، منها:

- ✓ المنظمة الدولية للمواصفات القياسية (ISO)
- ✓ مجموعة المساحة النفطية الأوربية (EPSG)
- ✓ الاتحاد الجيومكاني المفتوح (OGC)
- ✓ المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة (OSGeo)
- ✓ الهيئات الوطنية في الولايات المتحدة وأستراليا

2. المواصفات القياسية للإحداثيات

يتوفر العديد من المواصفات القياسية ذات الصلة بالتقنيات المكانية، فقد نشرت مثلاً اللجنة الفنية TC 211 في ISO منذ تأسيسها في العام 1994 وحتى الآن حوالي 70 مواصفة قياسية، بالإضافة إلى عشرات المواصفات القياسية التي نشرتها جهات أخرى عالمية ووطنية ومحلية. وتغطي هذه المواصفات شريحة متنوعة من الموضوعات التي تتناول التقنيات والبيانات والخدمات المكانية، لكننا سنتناول منها في هذا الفصل ما له علاقة بموضوع الكتاب؛ أي نظام الإحداثيات المرجعي والعمليات على الإحداثيات، مع العلم أن نطاق بعض المواصفات القياسية المذكورة أدناه لا ينحصر بالإحداثيات والعمليات عليها فقط، بل تغطي عدة موضوعات من بينها موضوعات ذات صلة بالإحداثيات.

2.1. المنظمة الدولية للمواصفات القياسية



المنظمة الدولية للمواصفات القياسية (ISO) منظمة غير حكومية تعمل على تطوير المواصفات القياسية لتشجيع تجارة السلع والخدمات على مستوى عالمي في شتى المجالات وتضم ممثلين من معظم دول العالم، لكن وثائق ISO محمية بحقوق النشر وتتقاضى المنظمة رسوماً مقابل الحصول على نسخ منها.

تنشط اللجنة الفنية ISO / TC 211 – إحدى اللجان الفنية في المنظمة – في مجال المعلومات الجغرافية الرقمية، وهي اللجنة المسؤولة في ISO عن إعداد سلسلة من المواصفات الفنية والقياسية الدولية ذات الصلة بالتقنيات المكانية تأخذ الأرقام 191XX عادة.

http://www.iso.org
http://www.isotc211.org

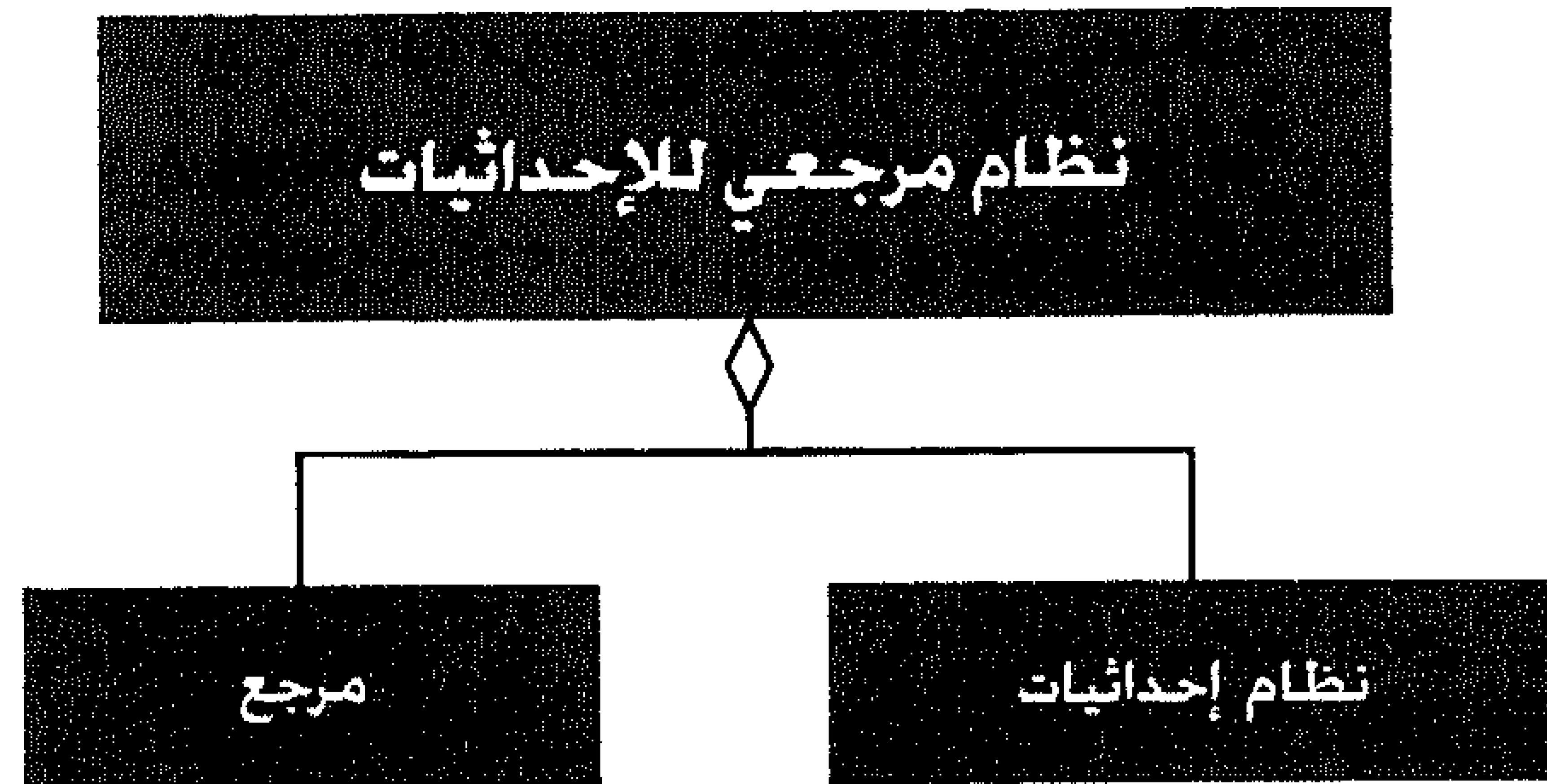
2.1.1. المواصفة القياسية ISO 19111

تصادفك عند مطالعة الموضوعات ذات الصلة بشكل الأرض وأنظمة الإحداثيات في المصادر المختلفة مصطلحات متباينة، وأحياناً متناقضة، سواء بين الاختصاصات أو بين اللغات، ولذلك تتوفر المواصفة القياسية ISO 19111 بعنوان "الإسناد المكاني باستخدام الإحداثيات" (Spatial Referencing by Coordinates) لتوحيد الأسماء والتعريفات والرموز والعمليات المستخدمة في هذا المجال. تحدد هذه المواصفة القياسية المخطط المفاهيمي لأنظمة الإحداثيات المرجعية وتقدم

إطاراً قياسياً للعمليات على الإحداثيات.

وفيما يلي ملخص المواصفة القياسية ISO 19111 (ISO, 2004):

- **نظام الإحداثيات** (coordinate system: CS) سلسلة من محاور الإحداثيات ذات وحدات قياس محددة يستخدم لتسجيل الإحداثيات. نظام الإحداثيات مفهوم رياضي مجرد ليس له صلة بالأرض.
- يحدد **المرجع** (datum) صلة نظام الإحداثيات بالأرض من خلال **وسيط** (parameter) أو مجموعة وسطاء تحدد الخيارات المتعلقة بمبدأ واتجاه ذلك النظام ويضمن بالتالي أن يكون المفهوم الرياضي المجرد لنظام الإحداثيات مفيداً في حل المشاكل العملية ذات الصلة بوصف مواقع المعالم على سطح الأرض أو بالقرب منه باستخدام الإحداثيات المقيسة عليه.
- يتألف **نظام الإحداثيات المرجعي** (coordinate reference system: CRS) من نظام إحداثيات ومرجع يمنحه صلة بالأرض.



الشكل 2-1 مكونات نظام الإحداثيات المرجعي

.2.1.2 المواصفة القياسية ISO 19112

تحدد المواصفة القياسية ISO 19112 بعنوان "الإسناد المكاني باستخدام المعرِّفات الجغرافية" (Spatial Referencing by Geographic Identifiers) المخطط المفاهيمي للإسناد المكاني بناء على المعرِّفات الجغرافية، أي أسماء المدن أو الأحياء أو المواقع المعروفة أو العناوين أو الرمز البريدي الخ، بدلاً من الإسناد المكاني باستخدام الإحداثيات التي تتناولها المواصفة القياسية 19111 (انظر 1.5 الإسناد المكاني باستخدام المعرِّفات الجغرافية)

تؤسس هذه المواصفة القياسية أيضاً لنموذج عام للإسناد المكاني باستخدام هذه المعرِّفات، وتحدّد العناصر الأساسية المطلوبة لإنشاء **معجم جغرافي** (gazetteer).

2.1.3. المواصفة القياسية ISO 67091

تهدف المواصفة القياسية ISO 6709 بعنوان "التمثيل القياسي لموقع النقطة الجغرافي باستخدام الإحداثيات" (Standard representation of geographic point location by coordinates) إلى خفض التكلفة والزمن في تبادل البيانات المكانية من خلال تعريف الشكل القياسي للإحداثيات، مثل ترتيب قيم الإحداثيات، واستخدام الدرجة العَشْرية، وتوحيد مبدأ قياس الإحداثيات الأفقية والرأسية ومتى تكون قيمها موجبة أو سالبة.

2.1.4. المواصفتان القياسيتان ISO 19113 و ISO 19114

تحدد المواصفة القياسية ISO 19113 بعنوان "المعلومات الجغرافية – مبادئ الجودة" (Geographic information - Quality Principles) المبادئ المستخدمة في وصف جودة البيانات الجغرافية والمكونات المطلوب توفرها عند تقديم التقارير عن معلومات الجودة، كما تقدم منهجاً يبين كيفية تنظيم المعلومات حول جودة البيانات.

تغطي هذه المواصفة القياسية عدة مواضيع مختلفة، منها **الدقة الموقعية** (positional accuracy) الذي يتناول دقة الإحداثيات في الاتجاهين الأفقي والرأسي.، وتنقسم إلى:

- الدقة الموقعية المطلقة أو الدقة الموقعية الخارجية (absolute positional accuracy or external positional accuracy): قرب قيم الإحداثيات في البيانات المكانية من إحداثياتها الحقيقية على الأرض.
- الدقة الموقعية النسبية أو الدقة الموقعية الداخلية (relative positional accuracy or internal positional accuracy): قرب المسافة بين مواقع المعالم في البيانات المكانية مع ما يقابلها من مسافة حقيقية على الأرض.
- الدقة الموقعية للبيانات الشبكية (gridded data position accuracy): قرب قيم الإحداثيات في البيانات الشبكية (مثل الصور الجوية) من إحداثياتها الحقيقية على الأرض.

لا تحدد هذه المواصفات الحدود الدنيا المقبولة للدقة الموقعية في البيانات المكانية، بل تترك مهمة ذلك إلى منتجي ومستخدمي البيانات لتحديد ذلك حسب الاحتياجات والهدف من استخدام البيانات المكانية، وعادة تضطلع الهيئات الوطنية بمهمة تحديد الحدود الدنيا للدقة الموقعية المطلوبة للبيانات المكانية لكل مقياس من مقاييس الخريطة (انظر 2.5 المواصفات القياسية الوطنية).

في المقابل، توفر المواصفة القياسية ISO 19114 بعنوان "المعلومات الجغرافية – إجراءات تقييم الجودة" (Geographic Information - Quality Evaluation Procedures) الإطار المطلوب للإجراءات المستخدمة في تحديد وتقييم جودة البيانات الجغرافية الرقمية، على ضوء المبادئ المحددة في المواصفة القياسية ISO 19113.

يستخدم منتجو البيانات المواصفة القياسية ISO 19114 لتحديد ما إذا كانت جودة البيانات المكانية تتطابق مع مواصفات المنتج، كما يستفيد منها مستخدمو البيانات لتحديد ما إذا كانت جودة هذه البيانات تلائم الهدف من استخدامها.

2.1.5. المواصفتان القياسيتان ISO 19115 و ISO 19139

طورت منظمة المعايير الدولية المواصفة القياسية ISO 19115 بعنوان "المعلومات الجغرافية – ما وراء البيانات" (Geographic Information - Metadata) لتوفير المبادئ التوجيهية لوصف البيانات والخدمات الجغرافية باستخدام مجموعة من المعلومات الإلزامية والاختيارية.

ما وراء البيانات (metadata) هي المعلومات عن البيانات، فإذا افترضنا أن الصورة الفوتوغرافية هي البيانات، فإن ما وراء البيانات هي المعلومات عن هذه الصورة مثل تاريخ ومكان التقاط الصورة، ونوع آلة التصوير المستخدمة الخ.



-Meta هي بادئة (prefix) مأخوذة من الكلمة اليونانية meta التي تعني بعد، وراء، بجوار. وقد تعرض العرب إلى كلمة تبدأ بها هي الميتافيزيقيا، وسموها "ما وراء الطبيعة". تستخدم بعض وثائق الأمم المتحدة مصطلح البيانات الفوقية أو البيانات الوصفية للدلالة على ما وراء البيانات.

تغطي المبادئ التوجيهية في المواصفة القياسية المواصفة القياسية ISO 19115 مواضيع مختلفة منها الهوية والقيود والتوزيع بالإضافة إلى موضوعين لهما صلة بالكتاب:

- الجودة: ويشمل هذا العنصر مجموعة من العناصر الفرعية منها عنصر الدقة الموقعية (كما في المواصفة القياسية ISO 19113) الذي يغطي بدوره العناصر الفرعية التالية:
  - الدقة الموقعية المطلقة والدقة الموقعية النسبية.
  - الدقة الموقعية للبيانات الشبكية مثل الصور الجوية.

- نظام الإسناد أي المعلومات عن النظام المرجعي للإحداثيات (كما في المواصفة القياسية ISO 19111)، ويشمل عنصر نظام الإسناد العناصر الفرعية التي تغطي نظام الإحداثيات المرجعي للبيانات مثل:
  - نظام الإحداثيات المرجعي الذي يصف المرجع والمجسّم الإهليلجي ونظام الإسقاط.

أما المواصفة القياسية ISO 19139 بعنوان "المعلومات الجغرافية – ما وراء البيانات – مخطط التنفيذ باستخدام XML" (Geographic Information - Metadata - XML Schema Implementation) فتوفر المخطط التنفيذي للمواصفة القياسية ISO 19115 باستخدام XML، وذلك بتحديد هيئة (format) سجل ما وراء البيانات. ويمكن استخدام هذا المخطط لوصف المعلومات ذات الصلة بما وراء البيانات المعدّة باستخدام XML، والتحقق من صحة هذه المعلومات، وتبادلها.

2.2. مجموعة المساحة النفطية الأوربية



تكتسب مجموعة بيانات **مجموعة المساحة النفطية الأوربية** (European Petroleum Survey Group: EPSG) أهمية خاصة أيضاً في جميع التطبيقات وليس في مجال النفط فقط، نظراً لأنها مصدر قياسي لتعريف وتوفير المعلومات ذات الصلة بالأنظمة المرجعية للإحداثيات وعمليات الإسقاط وتحويل الإحداثيات.

عملت EPSG – وهي منظمة علمية تضم متخصصين في الجيوديسيا التطبيقية والمساحة وفن إعداد الخرائط – في مجال اكتشاف النفط في أوروبا بين الأعوام 1986 و2005. طورت EPSG ونشرت قاعدة بيانات بالمجسّمات الإهليلجية والمراجع الجيوديسية وأنظمة الإحداثيات الجغرافية والإحداثيات الـمُسْقطة ووحدات القياس ذات الصلة، بالإضافة إلى عمليات قياسية على الإحداثيات.

في العام 2005 استحوذت الرابطة الدولية لمنتجي النفط والغاز (International Association of Oil & Gas Producers: OGP) على ESPG.

www.epsg.org
www.ogp.org.uk

.2.2.1 مجموعة بيانات الوسطاء الجيوديسية من EPSG

مجموعة بيانات الوسطاء الجيوديسية من EPSG (EPSG Geodetic Parameter Dataset) هي **سجلّ** (registry) يتضمن الأنظمة المرجعية للإحداثيات وعمليات التحويل بينها. يغطي هذا السجلّ الأنظمة والتحويلات من جميع دول العالم، ويشرف على صيانته اللجنة الفرعية للجيوديسيا في الرابطة الدولية لمنتجي النفط والغاز.

يمكن للزوار الاستعلام عن البيانات وطباعتها، ويوفر السجلّ للمستخدمين المسجّلين خدمات إضافية، مثل تصدير مجموعة البيانات بأكملها في هيئة GML 3.2.

بالإضافة إلى ذلك يوفر السجلّ هذه المعلومات في صورة **خدمة على ويب** (web service)، ما يسمح للمطوّرين والبرمجيات بتنفيذ الاستعلامات عن الوسطاء الجيوديسية عن طريق ويب.

يُعدّ استخدام رمز EPSG كافياً لتعريف نظام الإحداثيات المرجعي أو أحد مكوناته أو العمليات عليها. المثال التالي جزء من تطبيق GeoJSON على ويب، يشير إلى النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84 باستخدام رمز EPSG ومن دون الحاجة إلى تحديد اسمه أو وسطائه:

```
{'type': 'EPSG', 'properties': {'code': 4326}}
```

توفر EPSG مستندات الدعم الفني والأدلة التوجيهية ذات الصلة بمجموعة بيانات الوسطاء الجيوديسية في أجزاء هي:

- الجزء 1: استخدام مجموعة بيانات الوسطاء الجيوديسية من EPSG.
- الجزء 2: تغيير وتحويل الإحداثيات بما في ذلك المعادلات.
- الجزء 3: دليل مطوري السجلّ.
- الجزء 4: دليل مطوري قاعدة البيانات.

يمكن زيارة سجل EPSG على ويب في الرابط التالي:

http://www.epsg-registry.org

ويمكن الوصول إلى هذه المستندات والأدلة التوجيهية في الرابط التالي:

http://www.epsg.org/guides/index.html

2.3. الاتحاد الجيومكاني المفتوح

OGC®

طوّر الاتحاد الجيومكاني المفتوح (Open Geospatial Consortium: OGC) مجموعة واسعة من المواصفات القياسية التي تحدد شروط المطابقة (conformance) الواجب توفرها في الأنظمة والبرمجيات حتى تصبح متوافقة مع OGC. بعض هذه الشروط تغطي الأنظمة المرجعية للإحداثيات، ويعتمدها منتجو البرمجيات.

2.3.1. النص المعروف (WKT)

النص المعروف (well-known text: WKT) لغة ترميز نصّية (text markup language) لتمثيل **البيانات المتجهة** (vector data) ونظام الإحداثيات المرجعي ومكوّناته والتحويل بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات.

النسخة الثنائية من النص المعروف تستخدم لنقل وتخزين ذات المعلومات في هيئة ثنائية، وتسمى **الهيئة الثنائية المعروفة** (well-known binary: WKB).

طوّر الاتحاد الجيومكاني المفتوح النص المعروف ضمن المواصفتين القياسيتين "الوصول إلى المعالم البسيطة" (Simple Feature Access) و"خدمة تحويل الإحداثيات" (Coordinate Transformation Service)، ثم أصبح جزءاً من المواصفة القياسية ISO 13249 بعنوان "تقنية المعلومات – لغات قاعدة البيانات – الوسائط المتعددة وحزم التطبيق باستخدام SQL – الجزء 3: المكاني" (Information Technology - Database Languages - SQL Multimedia and Application Packages - Part 3: Spatial).

على الرغم من أن رمز EPSG كاف لتعريف نظام الإحداثيات المرجعي تعريفاً دقيقاً وفريداً، إلا أن هذا الرمز يعتمد بصورة كاملة على الوصول إلى قاعدة بيانات EPSG. لذلك يستخدم النص المعروف لتعريف نظام الإحداثيات المرجعي ومكوناته.

وفيما يلي تعريف النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84 باستخدام نسخة OGC من النص المعروف ويظهر فيه رموز النظام المرجعي والمرجع الجيوديسي والمجسّم الإهليلجي وخط زوال غرينيتش والدرجة في قاعدة بيانات EPSG وهي 4326 و6326 و7030 و8901 و9122 على التوالي:

```
GEOGCS["WGS 84",
  DATUM["WGS_1984",
    SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
      AUTHORITY["EPSG","7030"]],
    AUTHORITY["EPSG","6326"]],
  PRIMEM["Greenwich",0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
  UNIT["degree",0.01745329251994328,
    AUTHORITY["EPSG","9122"]],
  AUTHORITY["EPSG","4326"]]
```



صيغة ESRI من النص المعروف مختلفة قليلاً. النص المعروف التالي يعرّف النظام WGS 84 بصيغة ESRI:

```
GEOGCS["GCS_WGS_1984",
  DATUM["D_WGS_1984",
    SPHEROID["WGS_1984",6378137,298.257223563]],
  PRIMEM["Greenwich",0],
  UNIT["Degree",0.017453292519943295]]
```

البيانات المكانية المخزنة في هيئة (format) ملف SHP في ArcGIS يرافقها عادة ملف آخر يحمل الاسم ذاته واللاحقة PRJ ويتضمن معلومات النظام المرجعي لإحداثيات البيانات المكانية في صيغة WKT.



يتوفر في FME **المحوّل** (transformer) CoordinateSystemDescriptionConverter الذي يسمح بتحويل تعريف نظام الإحداثيات المرجعي بين الصيغ المختلفة التي تعتمدها البرمجيات. يدعم هذا المحوّل تحويل صيغ FME وWKT وAutodesk وEPSG وWKT ESRI وMapInfo وOGC WKT وOracle SRID وPROJ.4.

2.3.2. معرّف النظام المرجعي المكاني (SRID)

معرّف النظام المرجعي المكاني (spatial reference system identifier: SRID) قيمة

فريدة تستخدم لتحديد نظام الإحداثيات المرجعي، ويتوفر في معظم البرمجيات المتوافقة مع مواصفات OGC القياسية قاعدة بيانات بمعرّفات الأنظمة المرجعية المكانية لاستخدامها أثناء العمل، وتكون هذه المعرّفات أما معرّفات EPSG وهي الحالة الشائعة، أو معرّفات خاصة بالمنتج.

في أنظمة قواعد البيانات المكانية، مثل Oracle وMicrosoft SQL Server وIBM DB2 وIBM Informix وMySQL وTeradata وPostgreSQL وSQL Anywhere، يستخدم SRID لتحديد نظام إحداثيات الكائنات المكانية المخزّنة في قاعدة البيانات. ويُعرَّف SRID عادة باستخدام صيغة النص المعروف (WKT).

يكتسب SRID أهمية خاصة في مواصفات OGC القياسية، فهو المفتاح الرئيس لجدول spatial_ref_sys في النسختين 1.1 و1.2 من المواصفة القياسية Simple Features for SQL Specification، التي يلتزم بها منتجي البرمجيات، ويُعرّف على النحو التالي:

```
CREATE TABLE SPATIAL_REF_SYS
(
  SRID     INTEGER   NOT NULL PRIMARY KEY,
  AUTH_NAME CHARACTER VARYING(256),
  AUTH_SRID INTEGER,
  SRTEXT    CHARACTER VARYING(2048)
)
```

يستخدم SRID لتقييد العمليات المكانية، فبعض البرمجيات مثلاً لا تسمح بتنفيذ العمليات المكانية بين كائنات مكانية لها قيم SRID مختلفة.



تتطابق معرفات الأنظمة المرجعية للإحداثيات وعمليات تحويل الإحداثيات وطرق الإسقاط الخ في الإصدارات الحديثة من نظام Oracle Spatial مع معرفات EPSG وبالتالي يمكن استخدام الأخيرة في النظام كما هي. ولكن الإصدارات الأقدم من Oracle Spatial كانت تستخدم معرفات خاصة، وما زالت الإصدارات الحديثة من Oracle Spatial تدعم تلك المعرّفات القديمة لأغراض التوافقية مع الإصدارات الأقدم (backward compatibility).

ويمكن الحصول على معرِّف النظام المرجعي المكاني في Oracle Spatial المقابل لمعرف EPSG باستخدام البرنامج الفرعي MAP_EPSG_SRID_TO_ORACLE في حزمة SDO_CS. المثال التالي يعيد SRID في الإصدارات القديمة من Oracle Spatial المقابل لنظام WGS 84:

```
SQL> SELECT SDO_CS.MAP_EPSG_SRID_TO_ORACLE(4326) FROM DUAL;

SDO_CS.MAP_EPSG_SRID_TO_ORACLE(4326)
-----------------------------------
                    8307
```



يمكن الاستعلام في Oracle Spatial عن صيغة النص المعروف (WKT) لأي نظام مرجعي. المثال التالي يعرض صيغة النص المعروف للنظام المرجعي المكاني 8307؛ أي المعرّف القديم للنظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84 في النظام:

```
SQL> SELECT "SRID", "WKTEXT" FROM "MDSYS"."SDO_CS_SRS" WHERE SRID = 8307
SRID
----------

WKTEXT
----------------------------------------------------------------

8307
GEOGCS [ "Longitude / Latitude (WGS 84)", DATUM ["WGS 84, SPHEROID ["WGS 84",
6378137, 298.257223563]], PRIMEM [ "Greenwich", 0.000000 ], UNIT ["Decimal Degree",
0.01745329251994330]]
```

لاحظ أنه لا يوجد فرق بين النظامين المرجعيين 4326 و8307 في Oracle Spatial، حيث ما زال هذا النظام يدعم استخدام المعرّفات القديمة لأغراض التوافقية كما ذكرنا. الاستعلام عن النص المعروف الخاص بمعرّف النظام المرجعي المكاني 4326 يعيد ذات المعلومات:

```
SQL> SELECT "SRID", "WKTEXT" FROM "MDSYS"."SDO_CS_SRS" WHERE SRID = 4326
SRID
----------

WKTEXT
----------------------------------------------------------------

4326
GEOGCS [ "WGS 84", DATUM ["World Geodetic System 1984 (EPSG ID 6326)", SPHEROID
["WGS 84 (EPSG ID 7030)", 6378137.0, 298.257223563]], PRIMEM [ "Greenwich",
0.000000 ], UNIT ["Decimal Degree", 0.0174532925199433]]
```

2.3.3. خدمة تحويل الإحداثيات

توفر **خدمة تحويل الإحداثيات** (coordinate transformation service: CTS) للأنظمة والبرمجيات طريقة قياسية لتحديد الكيفية التي تُحوَّل من خلالها الإحداثيات، وتتناول هذه المواصفة القياسية الشرط الأساسي **لتراكب** (overlay) البيانات الجغرافية من مصادر متنوعة وهو تنفيذ التحويل بحيث تُعرَّف كافة البيانات المكانية بالنسبة إلى نظام الإحداثيات المرجعي ذاته.

تشمل التحويلات جميع أنواع العمليات على الإحداثيات بما في ذلك تحويل البيانات بين مرجعين مختلفين أو إسقاط البيانات حسب طريقة إسقاط معينة. الكائنات المكانية الناتجة من التحويل هي ذات الكائنات ولكن في نظام الإحداثيات المرجعي الهدف.

2.3.4. خدمة تحويل الإحداثيات على ويب (WCTS)

تقوم **خدمة تحويل الإحداثيات على ويب** (web coordinate transformation service: WCTS) بتحويل البيانات المكانية الرقمية المحفوظة في هيئة XML مثل GML من نظام إحداثيات مرجعي إلى نظام آخر.

ما زالت هذه المواصفة القياسية حديثة نسبياً، ولم تُطبَّق بعد في معظم الأنظمة والبرمجيات، باستثناء GeoMedia SDI Portal 6.1.0 وGeoMedia SDI Pro 6.1 من شركة Intergraph.



تتوفر بعض الخدمات الفورية على ويب لتغيير وتحويل الإحداثيات، وتدعم إدخال الإحداثيات أو تحميل بيانات مكانية مخزّنة في هيئة XML بما في ذلك GML، ومن هذه الخدمات:

http://www.opencts.org

2.4. المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة



المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة (Open Source Geospatial Foundation: OSGeo) مؤسسة غير ربحية وغير حكومية تتمثل مهمتها في دعم وتشجيع التعاون على تطوير التقنيات والبيانات المكانية مفتوحة المصدر للمنفعة العامة.

تأسست OSGeo لتقديم الدعم المالي والتنظيمي بهدف توسعة مجتمع المصادر الجيومكانية الحرة ومفتوحة المصدر، وليكون هيئة قانونية مستقلة تسمح لأفراد المجتمع بالمشاركة لتحقيق أهداف المؤسسة من خلال توفير **الشفرة المصدرية** (source code) والتمويل والموارد الأخرى.

تتضمن مشروعات OSGeo عدداً كبيراً من المكتبات المهمة مثل FDO لتحويل هيئات (formats) البيانات المكانية ومعالجتها وتحليلها وGDAL لقراءة وكتابة البيانات المتسامتة (raster data) مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية وPostGIS وهو الملحق المكاني لقاعدة البيانات PostgreSQL، بالإضافة إلى التطبيقات المكتبية (desktop applications) مثل برنامج GRASS GIS وQuantum GIS، وتطبيقات ويب مثل MapServer.

http://www.osgeo.org

2.4.1. المشروع MetaCRS

يضم المشروع MetaCRS العديد من التقنيات ذات الصلة بالأنظمة المرجعية للإحداثيات. يهدف هذا المشروع إلى جمع أنشطة OSGeo ومشروعاتها ذات الصلة بالأنظمة المرجعية للإحداثيات تحت إطار واحد بهدف مواءمة هذه المشروعات وربما دمجها في تقنية واحدة لاحقاً، وتوفير منصة للأعضاء للتعاون وتبادل المعلومات ذات الصلة مثل تعريفات الأنظمة المرجعية للإحداثيات وأدوات الاختبار والمعادلات الرياضية.

2.4.1.1. المشروع الفرعي PROJ.4

المشروع الفرعي PROJ.4 مكتبة لتنفيذ التحويل بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات، وتوفر هذه المكتبة أيضاً الملفات التنفيذية المطلوبة لتنفيذ التحويلات من سطر الأوامر. ومن المشروعات الفرعية المبنية على PROJ.4 مكتبة Proj4j الموجهة للغة Java وProj4js الموجهة لـ JavaScript.

2.4.1.2. المشروع الفرعي CS-Map

استحوذت Autodesk على المكتبة CS-Map في العام 2007 بشرائها من شركة Mentor Software وحولتها إلى مصدر مفتوح، ثم تبرعت بها إلى المؤسسة الجيومكانية للمصادر المفتوحة لينضم إلى المشروعات الفرعية تحت المشروع MetaCRS.

لم تكن المكتبة CS-Map أول إسهام لشركة Autodesk باتجاه المصادر المفتوحة، فقد تبرعت قبل ذلك بتطبيق MapGuide وتقنية FDO إلى OSGeo لتوفيرها إلى مجتمع المصادر المفتوحة.

تضم CS-Map أكثر من 3000 نظام مرجعي للإحداثيات، وتستخدم هذه المكتبة في AutoCAD Map 3D وAutodesk Infrastructure Map Server، وFME، كما يدعم الملحق Data Interoperability في ArcGIS 10.1 المكتبة CS-Map نظراً لأن هذا الملحق مبني على تقنية FME.

2.5. المواصفات القياسية الوطنية

تضطلع الجهات الرسمية داخل الدولة بتطوير المواصفات القياسية ذات الصلة بالتقنيات المكانية، وتغطي هذه المواصفات القياسية الوطنية موضوعات مختلفة، منها ما يتعلق بنظام الإحداثيات المرجعي مثل المرجع الجيوديسي المعتمد والإسقاط والتحويل بين الأنظمة المرجعية الخ، وهو موضوع نبحثه في الفصول القادمة من الكتاب، ومنها ما يتعلق بالمواصفات القياسية والفنية للشبكات الجيوديسية (انظر 3.6.1 المواصفات القياسية للشبكة الجيوديسية).

بالإضافة إلى ذلك تغطي هذه المواصفات الحدود المقبولة للدقة الموقعية في البيانات المكانية ومقاييس الرسم القياسية. ونلخص في الفقرات التالية بعض المواصفات القياسية الوطنية التي تُعنى بدقة البيانات المكانية، وهي:

- المواصفات القياسية الوطنية لدقة الخرائط في الولايات المتحدة.
- المواصفات القياسية للجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد (الولايات المتحدة)
- المواصفات القياسية الوطنية لدقة للبيانات المكانية (الولايات المتحدة)
- المواصفات القياسية الأسترالية للدقة الأفقية في الخرائط والبيانات المكانية (أستراليا)

بصورة عامة، يتم التحقق من دقة البيانات المكانية في جميع هذه المواصفات القياسية بمقارنة الإحداثيات الأفقية (المواقع) والإحداثيات الرأسية (الارتفاعات) لمجموعة من النقاط مع ما يقابلها من إحداثيات مقيسة بقياسات ذات دقة أعلى. وتختلف هذه المواصفات بالمنهجية والأدوات الإحصائية المستخدمة في عرض أخطاء الإحداثيات.

وقبل عرض هذه المواصفات القياسية لا بد من الحديث أولاً عن مقياس الخريطة نظراً لأنه المرجع في متطلبات الدقة في هذه المواصفات. وبصورة عامة، يمكن تعريف **مقياس الخريطة** (map scale) بالعلاقة أو النسبة بين المسافة على الخرائط أو صور الاستشعار عن بعد والمسافة المناظرة لها على الأرض. على سبيل المثال، إذا كان مقياس الخريطة 1:100,000 فهذا يعني أن كل 1 سم

على الخريطة يساوي 100,000سم أو 1 كلم على الأرض (انظر 4.7 المحافظة على المقياس).

كلما كان مقياس الخريطة صغيراً ظهرت على الخريطة منطقة أكبر من العالم ولكن بتفاصيل صغيرة، ما يعني أن خرائط العالم هي خرائط ذات **مقياس صغير** (small scale)، أما الخرائط التي تظهر فيها منطقة صغيرة بتفاصيل أكثر مثل المباني فهي خرائط ذات **مقياس كبير** (large scale).

قبل ظهور التقنيات المكانية وطباعة الخرائط بالحاسوب في نظام المعلومات الجغرافية، كانت الخرائط ترسم باليد، وكان مقياس الخريطة عاملاً حاسماً في دقتها نظراً لعرض القلم المستخدم في رسم الخريطة. فإذا كانت خريطة بمقياس 1:24,000 مثلاً ومرسومة بقلم عرضه 0.5 ملم فهذا يعني أن الخط على الخريطة يمثل على الأرض شريطاً عرضه 12 متراً، وإذا كان الخط يمثل ضفة نهر يمكننا أن نقول أن الضفة تقع في مكان ما ضمن هذه الخط.

تتم طباعة الخرائط اليوم بالحاسوب وبأي مقياس يختاره المستخدم، ومع ذلك ما زال المقياس عاملاً حاسماً في تحديد الدقة الموقعية للخريطة الورقية المطبوعة، لأن المعالم الجغرافية ما زالت ترسم بخطوط ذات عرض معين، كما أن هذه المعالم تظهر أو تختفي من الخريطة وتحتاج في كثير من الأحيان إلى **تعميم** (generalization) أي تبسيط وذلك بحذف التفاصيل التي لا تظهر في مقاييس الرسم الصغيرة.

عموماً يجب ألا تتم طباعة بيانات مكانية بالحاسوب بمقياس رسم أكبر من مقياس رسم البيانات الأصلية، مثل طباعة خريطة بمقياس 1:1,000 من بيانات مكانية ناتجة من **ترقيم** (digitizing) خريطة مقياسها 1:10,000.

أما البيانات الرقمية المعروضة على شاشة الحاسوب فيمكن معاينتها في مستويات تقريب/تبعيد (zoom) مختلفة على الشاشة يقابل كل منها مقياس رسم محدد، وفي هذه الحالة يُحدَّد المستوى المناسب من التقريب/التبعيد انطلاقاً من الدقة التي يوفرها مصدر هذه البيانات كما يلي:

- البيانات الرقمية المستخرجة من الصور الجوية أو الخرائط الممسوحة (scanned) ترث تلقائياً الدقة الموقعية للبيانات الأصلية؛ أي الدقة الموقعية للصورة الجوية أو الخريطة الممسوحة التي يحددها مقياس الصورة أو الخريطة، ما يعني أن مستوى التقريب المناسب يجب ألا يتجاوز مقياس رسم البيانات الأصلية، فهذه البيانات الرقمية لا يرتفع مستوى دقتها الموقعية بتقريبها.
- البيانات الرقمية الأخرى المقيسة بتقنيات ذات دقة موقعية عالية مثل نظام الملاحة

بالأقمار الاصطناعية باستخدام الرصد المتحرك في الوقت الحقيقي (RTK) مناسبة للعرض في مستويات تقريب كبيرة.

عند تجميع بيانات مكانية من مصادر مختلفة في منتج واحد بحيث لا يمكن التمييز بينها، تصبح الدقة الموقعية للمنتج الجديد مساوية لأدنى دقة موقعية في إحدى طبقات هذه البيانات، ولذلك يجب في هذه الحالة توثيق ذلك في تقرير الجودة (انظر 2.1.4 المواصفتان القياسيتان ISO 19113 وISO 19114).

لم يعد مفهوم مقياس الخريطة مناسباً للاستخدام مع البيانات المكانية الرقمية التي تُجمع وتخزّن في وسائط رقمية وتُعرض في البرمجيات والأنظمة الحاسوبية. ولذلك ظهرت اتجاهات حديثة تقترح استخدام مفهوم يتناسب مع هذا الواقع الرقمي الجديد، مثل مستوى التفصيل الجغرافي.

2.5.1. مكتب الموازنة الأمريكي

نشر مكتب الموازنة الأمريكي في العام 1941 المواصفات القياسية الوطنية لدقة الخرائط في الولايات المتحدة (United States National Map Accuracy Standards: NMAS)، وتعد هذه المواصفات أول مواصفات قياسية شاملة من هذا النوع في تاريخ الولايات المتحدة. تستخدم هذه المواصفات القياسات على الخريطة لتحديد الدقة بدلاً من القياسات على الأرض، وتبين الحدود الدنيا المقبولة لها حسب مقياس الرسم وفي **سوية الثقة** (confidence level) 90%، ويعني ذلك أن تفي 90% من نقاط التحقق على الأقل بالحدود الدنيا للدقة الموقعية.

تنقسم الخرائط بالنسبة للدقة الموقعية الأفقية في هذه المواصفة إلى قسمين:

- الخرائط بمقياس 1:20,000 أو أكبر؛ مثل الخرائط بمقياس 1:4,800، و1:2,400 الخ.
- الخرائط بمقياس 1:20,000 أو أصغر، مثل الخرائط بمقياس 1:50,000، و1:250,000 الخ.

وفي ما يلي الترجمة الكاملة للمواصفة القياسية NMAS:

"بغية الاقتصاد والسرعة القصوى في إنتاج الخرائط التي لا تنحصر فقط بتلبية الشريحة الواسعة من متطلبات الخرائط القياسية أو الأساسية، بل تغطي أيضاً الاحتياجات المعقولة الخاصة بالجهات الفردية، يُعرّف مستوى دقة الخرائط المطبوعة على النحو التالي:

1. **الدقة الأفقية**: بالنسبة للخرائط بمقياس 1:20,000 أو أكبر، يجب ألا يعاني أكثر من 10 في المائة من نقاط التحقق من خطأ أكبر من 1/30 من البوصة مقيساً بوحدة قياس الخريطة؛ أما في

الخرائط بمقياس 1:20,000 أو أصغر فتكون 1/50 من البوصة. في جميع الحالات، يجب تطبيق هذه الحدود من الدقة على مواقع النقاط واضحة المعالم فقط. النقاط واضحة المعالم هي تلك النقاط من الخريطة التي يمكن رؤيتها والعثور عليها بسهولة على الأرض مثل: الصروح ونقاط التحكم مثل علامات المنسوب، علامات حدود الممتلكات؛ تقاطعات الطرق والسكك الحديدية، وما إلى ذلك من زوايا المباني أو المنشآت الكبيرة (أو نقاط مركز الأبنية الصغيرة الخ). وعموماً يعتمد تحديد النقاط واضحة المعالم على ما يمكن طباعته على الخريطة بمقياسها ضمن 1/100 من البوصة. هذا يعني أن نقاط تقاطع خطوط الطرق أو الممتلكات التي تلتقي بزاوية قائمة يمكن عدّها نقاطاً واضحة المعالم، لكن هذه الخطوط إذا التقت بزاوية حادة لا تُعدّ نقاط التقائها واضحة المعالم لأنها لا يمكن التعرف عليها عملياً ضمن 1/100 من البوصة. وبالمثل، فإن المعالم التي لا يمكن تمييز حدودها على الأرض ضمن مسافة قريبة لا يمكن استخدامها كنقاط تحقق، حتى إن ظهرت بوضوح على الخريطة. ومن الأمثلة على هذا النوع من المعالم خطوط الأشجار وحدود التربة، الخ.

2. عند تطبيق **الدقة الرأسية** على خرائط **المناسيب** (contour) – وفي أي مقياس رسم – يجب ألا يعاني أكثر من 10 في المائة من الارتفاعات في نقاط التحقق من خطأ قيمته أكبر من نصف قيمة فاصل (interval) المنسوب. وعند التدقيق في الارتفاعات المأخوذة من الخريطة يمكن إنقاص الخطأ الرأسي بافتراض وجود إزاحة أفقية على ألا تزيد هذه الإزاحة الأفقية عن الخطأ الأفقي المسموح به في خريطة بذلك المقياس.

3. **ويمكن اختبار دقة أي خريطة** بمقارنة مواقع أو ارتفاعات النقاط التي تظهر عليها مع ما يقابلها من مواقع تحددها قياسات ذات دقة أعلى. تقوم الجهة المنتجة بإجراء التحقق، وتحدد أيضاً أياً من خرائطها سيخضع لهذا الاختبار، ومدى عملية التحقق هذه.

4. في **الخرائط المطبوعة التي تفي بمتطلبات الدقة** يجب التنويه بذلك على حاشية الخريطة، على النحو التالي: "تتوافق هذه الخريطة مع المواصفات القياسية الوطنية لدقة الخرائط".

5. في الخرائط المطبوعة التي يتجاوز فيها الخطأ الحدود المذكورة أعلاه يجب حذف أية إشارة إلى الدقة القياسية من حاشية الخريطة.

6. **عندما تنتج الخريطة المطبوعة من عملية تكبير** (enlargement) ملحوظ لخريطة مرسومة أو مطبوعة، يجب ذكر هذه الحقيقة في الحاشية. على سبيل المثال: "هذه الخريطة تكبير لخريطة مرسومة بمقياس 1:20,000"، أو "هذه الخريطة هي تكبير لخريطة مطبوعة بمقياس 1:24,000".

7. لتسهيل تبادل واستخدام المعلومات الأساسية في تجميع الخرائط في الجهات الاتحادية المنتجة للخرائط، يجب أن يتقيد حجم الخرائط المرسومة والمطبوعة – حيثما كان ذلك ممكناً واقتصادياً

ومنسجماً مع الأغراض التي أُنشئت الخريطة من أجلها – بحدود خطوط العرض والطول، وهي 15 دقيقة من دقائق خطوط العرض والطول، أو 7.5 دقيقة، أو 3-3/4 (ثلاثة وثلاثة أرباع) الدقيقة". (U.S. Bureau of the Budget, 1947)

يبين الجدول التالي أمثلة من حدود الدقة الموقعية الأفقية في سوية الثقة 90% لمقاييس رسم مختلفة حسب مواصفات NMAS، مع تقريبها إلى المتر:

مقياس الخريطة	الدقة الأفقية في سوية الثقة 90% (قدم)	الدقة الأفقية في سوية الثقة 90% (متر)
1:1,200 (1"=100')	3.3	1.0
1:2,400 (1"=200')	6.7	2.0
1:4,800 (1"=400')	13.3	4.1
1:10,000	27.8	8.5
1:12,000 (1"=1000')	33.3	10.2
1:24,000 (1"=2000')	40.0	12.2
1:25,000	41.8	12.8
1:63,360 (1"= 1 mile)	105.6	32.2
1:100,000	166.7	50.8
1:250,000	416.7	127.1
1:500,000	833.3	254
1:1,000,000	1666.7	508
1:2,000,000	3333.3	1016

الجدول 2-1 الدقة الموقعية الأفقية (قدم) في مقاييس رسم مختلفة حسب مواصفات NMAS

ويبين الجدول التالي أمثلة من حدود الدقة الموقعية الرأسية في سوية الثقة 90% في فواصل منسوب مختلفة:

فاصل المنسوب (قدم)	الدقة الرأسية في سوية الثقة 90% (قدم)
1.0	0.5
2.0	1.0
5.0	2.5
10.0	5.0
50.0	25.0

الجدول 2-2 الدقة الموقعية الرأسية في فواصل منسوب مختلفة حسب مواصفات NMAS

ما زالت NMAS مستخدمة حتى اليوم، لكنها مواصفات قديمة لا تعكس ما نشهد من تطورات

تقنية، كما أنها محصورة بالخرائط الورقية المطبوعة، ولذلك ظهرت مواصفات قياسية أخرى لتحل محلها يمكن تطبيقها على البيانات المكانية الرقمية وليس على الخرائط المطبوعة فقط.

2.5.2. الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد

نشرت الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: ASPRS) مواصفات ASPRS القياسية لدقة الخرائط ذات المقياس الكبير (ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps) في العام 1990.

طور هذه المواصفات لجنة المواصفات والمعايير في ASPRS بهدف تحديث مواصفات NMAS، ومن المزايا الرئيسية لها أنها تحدد الدقة بقياس المسافات على الأرض وليس على الخريطة كما في NMAS، ما يسمح بربط البيانات المكانية الرقمية بمقياس الرسم المناسب من خلال دقتها الموقعية.

"تتعلق هذه المواصفات بتعريفات الدقة المكانية ذات الصلة بالخرائط الطبوغرافية ذات المقياس الكبير والمعدّة لاستخدامها في أغراض خاصة أو في التطبيقات الهندسية. وتركّز هذه المواصفات على وصف الدقة المكانية النهائية التي يمكن استنتاجها من الخريطة بلغة يفهمها عموم المستخدمين". (ASPRS, 1990)

تُعرَّف دقة الخريطة بقيمة **الخطأ متوسط التربيع** (root-mean-square error: RMSE) التي تقاس على الأرض بمقارنة الإحداثيات الأفقية (X, Y) أو الرأسية (الارتفاع) التي تُستنتج من الخريطة مع الإحداثيات المناظرة في نقاط التحقق فقط، وهي نقاط واضحة المعالم في المشروع وتقاس بمسح مستقل ذي دقة أعلى.

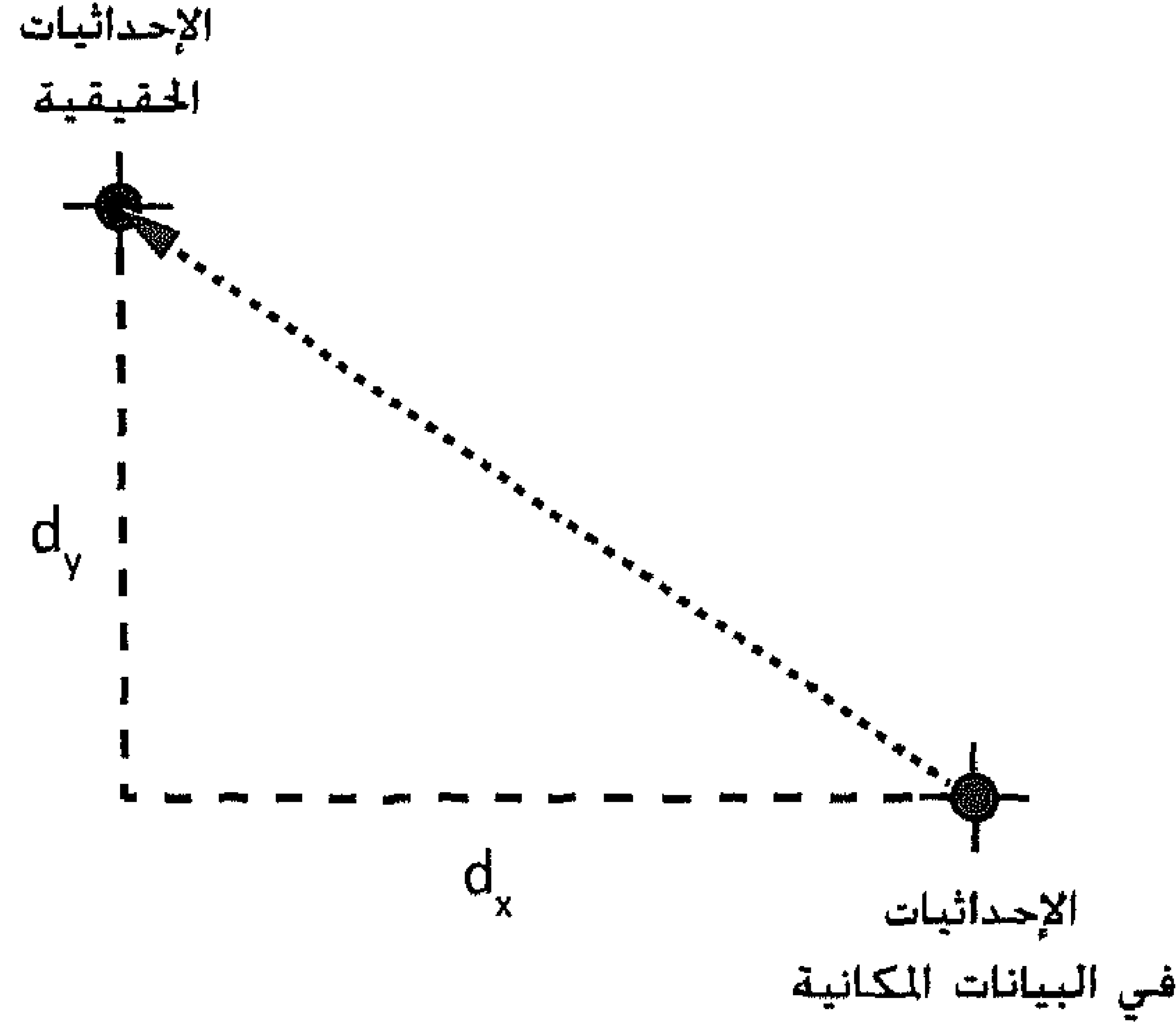
يعرّف الخطأ متوسط التربيع بقيمة الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الفروق في الإحداثيات الأفقية باتجاه X أو Y أو الرأسية في اتجاه Z. وتشمل قيمة RMSE تراكم جميع الأخطاء بما في ذلك الأخطاء في نقاط التحكم الأرضي، وأخطاء إنتاج الخريطة واستنتاج الأبعاد على الأرض من القياسات على الخريطة.

تحسب قيمة RMSE للإحداثيات في الاتجاه X على سبيل المثال بالمعادلة التالية:

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{{D_x}^2}{n}}$$

حيث D_x^2 مربعات الفروق في الإحداثيات في الاتجاه X وتحسب كما يلي:

$$D_x^2 = d_{x1}^2 + dx_2^2 + \cdots + dx_n^2$$



الشكل 2-2 الفروق بين الإحداثيات الأفقية في البيانات المكانية ونقاط التحقق

وd_x الفرق في الإحداثيات في الاتجاه X ويحسب بالمعادلة:

$$d_x = X_{map} - X_{check}$$

وn عدد نقاط التحقق من الإحداثيات في الاتجاه X.

بصورة عامة يمكن عدّ **الانحراف المعياري** (standard deviation: σ) والخطأ متوسط التربيع مصطلحين مترادفين، حيث يستخدم الأول في علم الإحصاء بينما يستخدم الثاني في نظرية الأخطاء، ولذلك يمكن أن تصادف بعض المواصفات القياسية التي تستخدم مصطلح الانحراف المعياري بدلاً من الخطأ متوسط التربيع.

تختلف متطلبات الدقة حسب فئة الخرائط، فقيمة RMSE القصوى المسموحة في الفئة 2 هي ضعف القيمة القصوى المسموحة في الفئة 1، وتبلغ قيمة RMSE القصوى المسموحة في الفئة 3 ضعف القيمة المسموحة في الفئة 2. يبين الجدول التالي متطلبات دقة الإحداثيات **الأفقية** (planimetric) (مسافة X أو Y على الأرض بالقدم) للخرائط من الفئة 1:

مقياس الخريطة	الدقة الأفقية (X أو Y) للفئة 1 قيمة RMSE القصوى المسموحة (قدم)
1:60	0.05
1:120	0.10
1:240	0.20
1:360	0.30
1:480	0.40
1:600	0.50
1:1,200	1.0
1:2,400	2.0
1:4,800	4.0
1:6,000	5.0
1:9,600	8.0
1:12,000	10.0
1:20,000	16.7

الجدول 2-3 متطلبات دقة الإحداثيات الأفقية (قدم) للخرائط من الفئة 1 حسب مواصفات ASPRS

ويبين الجدول التالي متطلبات دقة الإحداثيات الأفقية (بالمتر) للخرائط من الفئة 1 و2 و3:

مقياس الخريطة	الدقة الأفقية (X أو Y)		
	للفئة 1	للفئة 2	للفئة 3
	قيمة RMSE القصوى المسموحة (متر)		
1:50	0.0125	0.025	0.0375
1:100	0.025	0.05	0.075
1:200	0.05	0.10	0.15
1:500	0.125	0.25	0.375
1:1,000	0.25	0.50	0.75
1:2,000	0.5	1.00	1.50
1:4,000	1.00	2.00	3.00
1:5,000	1.25	2.50	3.75
1:10,000	2.50	5.00	7.50
1:20,000	5.00	10.00	15.00

الجدول 2-4 متطلبات دقة الإحداثيات الأفقية (متر) للخرائط من الفئة 1 و2 و3 حسب مواصفات ASPRS

قيمة RMSE القصوى المسموحة في الاتجاه الرأسي في الخرائط من الفئة 1 حسب مواصفات ASPRS هي ثلث قيمة فاصل المنسوب للنقاط واضحة المعالم فقط، أما قيمة RMSE في **نقاط الارتفاعات المدققة** (spot heights) فتكون سدس فاصل المنسوب فقط. وتشترط مواصفات ASPRS استخدام 20 نقطة تحقق على الأقل، ويتطابق تعريف نقاط التحقق في ASPRS وNMAS، فهي نقاط من الخريطة واضحة المعالم يمكن رؤيتها والعثور عليها بسهولة على الأرض، وتحدد هذه النقاط وتكون موزعة بصورة مناسبة في منطقة المشروع بالاتفاق بين الأطراف.

"يمكن تجميع الخريطة من بيانات متوافقة مع متطلبات الدقة الأفقية لفئة ما ومتطلبات الدقة الرأسية لفئة أخرى. ويسمح أيضاً باستخدام مستويات دقة أفقية متعددة على ذات الخريطة بشرط تضمينها رسماً تخطيطياً يوضح المناطق من الخريطة التي تتوافق مع متطلبات الدقة لكل فئة من الفئات". (ASPRS, 1990)

يكون التنويه إلى مطابقة الخرائط لمعايير تقييم الدقة بموجب عبارة مطابقة، بدلاً من قيمة دقة رقمية، كما في الأمثلة التالية:

- تم إعداد هذه الخريطة بحيث تطابق مواصفات ASPRS لدقة الخرائط من الفئة 1.
- تم فحص هذه الخريطة ووجدت أنها تطابق مواصفات ASPRS لدقة الخرائط من الفئة 2.

توقفت ASPRS عن صيانة أو تطوير هذه المواصفات القياسية، وشاركت في تطوير مواصفات NSSDA القياسية التي اعتمدتها اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية.

2.5.3. اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية



اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية (Federal Geographic Data Committee: FGDC) هي لجنة حكومية أمريكية تعمل على تنسيق الأنشطة الحكومية ذات الصلة بإعداد البيانات الجغرافية وتعمل على تشجيع استخدامها ومشاركتها على الصعيد الوطني، وتتألف من 19 عضواً يمثلون المكتب التنفيذي للرئيس، ومجلس الوزراء والهيئات الاتحادية.

يعرف برنامج البيانات الوطنية هذا باسم **البنية التحتية للبيانات المكانية الوطنية** (National Spatial Data Infrastructure: NSDI)، وهو شبكة تنظيمية تربط جهات مختلفة وتهدف إلى تعزيز تطوير الموارد الجغرافية الرقمية ومشاركتها.

طورت FGDC مجموعة من المواصفات القياسية ذات الصلة بالدقة الموقعية بعنوان "المواصفات

القياسية لدقة تحديد الموقع" (Geospatial Positioning Accuracy Standards) في خمسة أجزاء هي:

- منهجية إعداد التقارير (Reporting Methodology)
- المواصفات القياسية للشبكة الجيوديسية (Standards for Geodetic Networks) التي سنناقشها لاحقاً (انظر 3.6.1 المواصفات القياسية للشبكة الجيوديسية).
- المواصفات الوطنية لدقة البيانات المكانية (National Standard for Spatial Data Accuracy: NSSDA) وهي المواصفات التي حلت محل مواصفات ASPRS.
- المواصفات القياسية للعمارة والهندسة والإنشاء وإدارة المرافق (Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management)
- المواصفات القياسية للمسوح الهيدروغرافية المتعلقة بالخرائط الملاحية (Standards for Nautical Charting Hydrographic Surveys)

"تنطبق NSSDA على الخرائط والبيانات المكانية الرقمية المسندة جغرافياً بالكامل، سواء أكانت في هيئة متسامتة، أو نقاط، أو هيئة متجهة، والمستمدة من مصادر مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية، وأعمال المساحة الأرضية. وتوفر لغة مشتركة لتقديم التقارير عن الدقة لتسهيل التعرف على البيانات المكانية في التطبيقات الجغرافية".(FGDC, 1998)

تستخدم NSSDA التي نُشرت في العام 1998 الخطأ متوسط التربيع (RMSE) لتقدير الدقة الموقعية، كما في مواصفات ASPRS، وتشرح المنهجية المستخدمة في تقدير الدقة، لكنها تختلف عن مواصفات ASPRS بما يلي:

- لا تحدد NSSDA القيمة الدنيا المقبولة بل تترك مهمة ذلك إلى منتجي ومستخدمي البيانات لتحديد ذلك حسب الاحتياجات والهدف من استخدام البيانات المكانية.
- الدقة الأفقية النهائية في NSSDA لا تُقيّم في تقريرين منفصلين؛ أي باتجاهي X وY على حدة، كما في ASPRS، بل تُقرر الدقة بقيمة واحدة.
- تحدد NSDDA الدقة في سوية الثقة 95%.

تُحدد الدقة في NSSDA بالمسافات المقيسة على الأرض في سوية الثقة 95% باختبار 20 نقطة على الأقل. الدقة في سوية الثقة 95% تعني أن 95% من المواقع في مجموعة البيانات ستعاني من خطأ يساوي أو أصغر من القيمة المحددة مقارنة بالموقع الصحيح على الأرض، وعند اختبار 20

نقطة تسمح سوية الدقة 95% طبقاً لهذه المواصفات لنقطة واحدة فقط بالإخفاق في تلبية مستوى الدقة المحدد في المنتج.

وكما في مواصفات ASPRS تعكس قيمة الدقة جميع أوجه عدم اليقين، بما في ذلك بما في ذلك الأخطاء الناتجة من نقاط التحكم الأرضي، وإنتاج الخريطة، واستنتاج الأبعاد على الأرض من القياسات في المنتج.

يمكن تعريف الخطأ الأفقي $RMSE_r$ بالمعادلة التالية:

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x{}^2 + RMSE_y{}^2}$$

عندما تكون الأخطاء دائرية؛ أي عندما تكون قيمة RMSE متساوية في اتجاهي X و Y يحسب الخطأ الأفقي كما يلي:

$$RMSE_r = \sqrt{2 \times RMSE_x{}^2} = \sqrt{2 \times RMSE_y{}^2}$$

وبالتالي يمكن حساب الخطأ الأفقي من المعادلة:

$$RMSE_r = 1.4142 \times RMSE_x = 1.4142 \times RMSE_y$$

لحساب الدقة الأفقية $Accuracy_r$ في سوية الثقة 95% انطلاقاً من الخطأ الأفقي $RMSE_r$، يمكن طبقاً لهذه المواصفة استخدام العامل 2.4477 كما يلي:

$$Accuracy_r = 2.4477 \times RMSE_x = 2.4477 \times RMSE_y$$

وبفرض أن الأخطاء دائرية يمكن تعويض قيمة $RMSE_x$ أو $RMSE_y$ من المعادلة السابقة:

$$Accuracy_r = \frac{2.4477 \times RMSE_r}{1.4142}$$

أي تكون قيمة الدقة الأفقية في سوية الثقة 95% طبقاً لهذه المواصفة القياسية:

$$Accuracy_r = 1.7308 \times RMSE_r$$

وللمقارنة مع مواصفات NMAS يمكن حساب الدقة الأفقية في سوية الثقة 90% عندما تكون الأخطاء دائرية باستخدام العامل 2.146 كما يلي:

$$Accuracy_r = \frac{2.146 \times RMSE_r}{1.4142}$$

أي:

$$Accuracy_r = 1.5175 \times RMSE_r$$

وإذا لم تكن الأخطاء دائرية وكانت نسبة $RMSE_{min}/RMSE_{max}$ بين 0.6 و1.0 (حيث $RMSE_{min}$ أصغر قيمتي الخطأين الأفقيين $RMSE_x$ و$RMSE_y$ و$RMSE_{max}$ أكبرهما) تُحسب قيمة الدقة الأفقية في سوية الثقة 95% بالمعادلة التالية:

$$Accuracy_r = 2.4477 \times 0.5 \times (RMSE_x + RMSE_y)$$

لحساب الدقة الرأسية $Accuracy_z$ في سوية الثقة 95% انطلاقاً من الخطأ الرأسي $RMSE_z$، يمكن استخدام العامل 1.96:

$$Accuracy_z = 1.96 \times RMSE_z$$

وفي سوية الثقة 90% يمكن استخدام العامل 1.6449 كما يلي:

$$Accuracy_z = 1.6449 \times RMSE_z$$

عندما تتضمن مجموعة البيانات موضوعات أو مناطق جغرافية في مستويات مختلفة من الدقة، تُستخدم المبادئ التوجيهية التالية لتقديم التقارير عن دقة مجموعة البيانات المركّبة:

- إذا أمكن تمييز الدقة المتفاوتة بصورة منفصلة في مجموعة بيانات، تحسب قيم الدقة وتُعد التقارير لكل بيانات على حدة.
- عندما تكون البيانات مركبة بصورة لا يمكن معها تمييز مستويات الدقة المتفاوتة، تحسب قيم الدقة لمجموعة البيانات معاً.
- عندما لا تُختبر مجموعة البيانات تُعدّ دقتها مساوية لأقل مكوناتها دقة.

عندما تكون البيانات المكانية رقيمة يُبلّغ عن الدقة في ما وراء البيانات (metadata)، وعندما

تكون خريطة مطبوعة تُقرّر الدقة على الخريطة بموجب عبارة مطابقة.

تحدد قيمة الدقة بصورة منسجمة مع البيانات، فتستخدم الوحدات المترية أو القدم طبقاً لوحدات القياس المستخدمة في البيانات المكانية، كما يُحدد عدد المنازل العَشْرية في قيمة الدقة بناءً على عدد المنازل العشرية في قيم الإحداثيات في البيانات.

تُقرّر الدقة في سوية الثقة 95% للبيانات التي تُختبر دقتها الأفقية والرأسية على النحو التالي:

"تم اختبار دقة أفقية .... (متر/قدم) في سوية الثقة 95%"

"تم اختبار دقة رأسية .... (متر/قدم) في سوية الثقة 95%"

وإذا تعذر اختبار دقة البيانات بالاعتماد على مصدر ذي دقة أعلى حسب المبادئ التوجيهية السابقة، واستخدمت طريقة أخرى، تُقرر الدقة في سوية الثقة 95% للبيانات على النحو التالي:

"أنتجت (هذه البيانات/الخريطة) لتوافق دقة أفقية .... (متر/قدم) في سوية الثقة 95%"

"أنتجت (هذه البيانات/الخريطة) لتوافق دقة رأسية .... (متر/قدم) في سوية الثقة 95%"

2.5.4. اللجنة الحكومية للمساحة وإعداد الخرائط



طورت اللجنة الدائمة للمعلومات الطوبوغرافية في اللجنة الحكومية للمساحة وإعداد الخرائط (Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping: ICSM) المواصفة القياسية الأسترالية للدقة الأفقية في الخرائط والبيانات المكانية (Australian Map and Spatial Data Horizontal Accuracy Standard: AMSDAS) في العام 2009 لتحديث مواصفات أسترالية قديمة ترقى للعامين 1953 و1975.

"تسمح هذه المواصفة القياسية لمستخدمي الخرائط والبيانات المكانية التي تتوافق مع المواصفة بالحكم على ما إذا كانت تلك الخرائط والبيانات دقيقة بالقدر الذي تتطلبه التطبيقات التي يعملون عليها"، و"تعتمد في أجزاء منها على المواصفات الوطنية لدقة البيانات المكانية الصادرة عن اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية في العام 1998".(ICSM, 2009)

عندما لا تتحقق المتطلبات المحددة في هذه المواصفة، فإنها توصي بتوفير معلومات تسمح للمستخدم بتقييم مدى ملاءمة البيانات للتطبيقات التي يعمل عليها، وتشمل هذه المعلومات:

- المادة الأصلية التي تم إنتاج البيانات منها
- دقة الأعمال المساحية الأرضية ذات الصلة بإنتاج هذه البيانات
- إجراءات الترقيم (digitizing)
- المعدات
- إجراءات ضبط الجودة المستخدمة في إنتاج البيانات.

وكما في NSSDA يمكن تعريف الخطأ الأفقي $RMSE_r$ بالمعادلة التالية:

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_E{}^2 + RMSE_N{}^2}$$

حيث $RMSE_E$ و$RMSE_N$ الأخطاء في اتجاهي X وY على الترتيب.

وعندما تكون الأخطاء دائرية يمكن حساب الخطأ الأفقي من المعادلة:

$$RMSE_r = 1.4142 \times RMSE_E = 1.4142 \times RMSE_N$$

وفي هذه الحالة يمكن حساب الدقة الأفقية $Accuracy_r$ في سوية الثقة 95% انطلاقاً من الخطأ الأفقي $RMSE_r$ كما يلي:

$$95\%\ Accuracy_r = 1.7308 \times RMSE_r$$

الفصل 3

نظام الإحداثيات المرجعي

يتألف نظام الإحداثيات المرجعي من نظام إحداثيات ومرجع يمنحه صلة بالأرض، وتكون العمليات الحسابية المطلوبة لقياس المسافات والمساحات والاتجاهات سهلة التنفيذ وخالية من الأخطاء عندما ننسب المواقع على سطح الأرض إلى نظام الإحداثيات المرجعي.

نناقش في هذا الفصل:

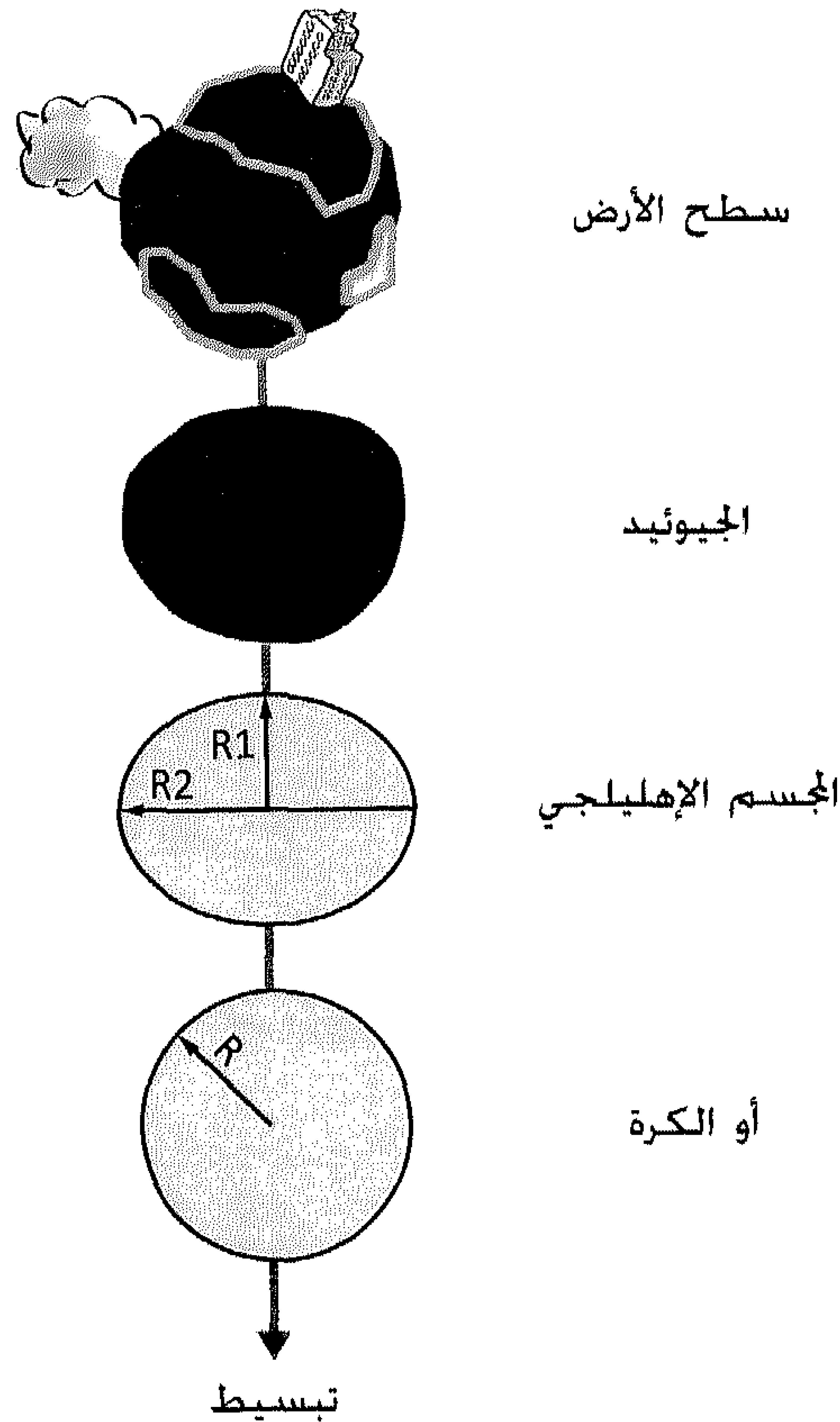
- ✓ تمثيل شكل الأرض رياضياً
- ✓ أنواع أنظمة الإحداثيات والمراجع
- ✓ النظام المرجعي للإحداثيات بأنواعها: الجغرافية، وأرضية المركز، والرأسية، والمركبة
- ✓ الارتفاعات والأعماق ومتوسط منسوب البحر
- ✓ الجيوئيد
- ✓ الشبكة الجيوديسية الوطنية
- ✓ النظام المرجعي للإحداثيات في برامج نظام المعلومات الجغرافية

3. نظام الإحداثيات المرجعي

3.1. تمثيل شكل الأرض رياضياً

تبين الصور الملتقطة من سطح القمر ومن الأقمار الاصطناعية كروية الأرض، ولكن هذا الشكل ليس كرة تامة، إذ ليس لها قطر ثابت، وتتميز بالتفلطح وعدم الانتظام، فهي إذاً أشبه بثمرة البطاطا الملساء التي لا تخلو من النتوءات والتجاويف.

كيف يمكننا إذاً قياس المسافات والمساحات والاتجاهات على سطح هذا الشكل غير المنتظم، وما هو نظام الإحداثيات المرجعي التي يمكننا أن ننسب إليه المعالم على سطح الأرض أو بالقرب منه بحيث تكون العمليات الحسابية المطلوبة لقياس المسافات والمساحات والاتجاهات سهلة التنفيذ؟ كيف يمكن بعد ذلك رسم المعالم الجغرافية على سطح مستوٍ؟

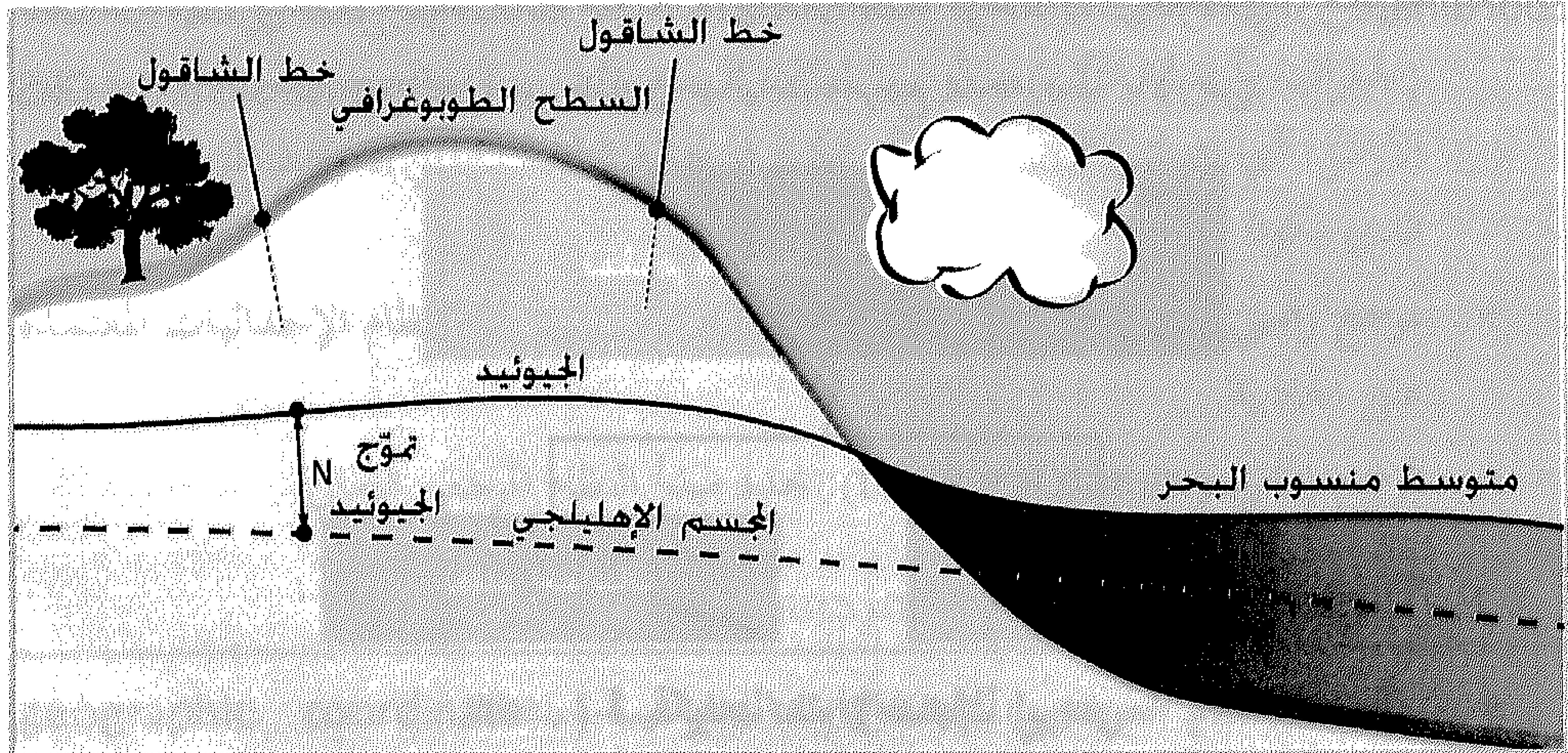


الشكل 3-1 التدرج في تبسيط شكل الأرض

الخطوة الأولى من عملية التبسيط هي إزالة جميع تضاريس سطح الأرض، وتحديد شكل الأرض عند **متوسط منسوب البحر** (mean sea level: MSL). يسمى شكل الأرض عند متوسط منسوب البحر (تقريباً) **المجسّم الأرضي** أو **الجيوئيد** (geoid)، الذي سنتعرف إلى تفاصيله لاحقاً، وهو شكل غير منتظم نظراً لأن كتلة الأرض وبالتالي جاذبية الأرض غير موزعة بالتساوي.

من الواضح أن الجيوئيد لا ينطبق على **السطح الطوبوغرافي** (topographic surface)، أي سطح قشرة الأرض، بل يمكن أن يمر من تحت ذلك السطح الطوبوغرافي أو فوقه حسب تضاريس كل منطقة، ويمكننا أن نرى سطح الجيوئيد في اليابسة عندما نشق فيها قناة مائية متصلة بالبحر. هذا يعني أن اليابسة تتطابق مع الجيوئيد إذا تم تعريتها وتسويتها تماماً مع متوسط منسوب البحر، ولذلك يتخذ سطح الجيوئيد في الأعمال المساحية مرجعاً رأسياً لقياس الارتفاعات.

وبمجرد أن نتوصل إلى تحديد الجيوئيد، يمكننا إنشاء **المجسّم الإهليلجي** (ellipsoid)، وهو شكل ناتج من تدوير القطع الناقص حول محوره الصغير الذي يصل بين القطبين، بحيث يطابق شكل الجيوئيد أفضل مطابقة، تبسط هذه الخطوة العمليات الحسابية المشار إليها أعلاه بصورة كبيرة، لكن المجسّم الإهليلجي لن ينطبق مع سطح الجيوئيد مهما حاولنا ذلك، فالجيوئيد سطح غير منتظم بينما المجسّم الإهليلجي سطح منتظم يمكن تمثيله بمعادلة رياضية، ويسمى الفرق بينهما تموّج الجيوئيد (انظر 3.4.4.2 تموّج الجيوئيد).



الشكل 3-2 علاقة الجيوئيد بالسطح الطوبوغرافي للأرض والمجسّم الإهليلجي

يمكننا أن نذهب في عملية التبسيط إلى أبعد من ذلك من خلال إنشاء **كرة** (sphere) ينطبق مثلاً مركزها مع مركز المجسّم الإهليلجي ولها ذات حجمه، ما يجعل العمليات الحسابية الخاصة

بالمسافة والمساحة والاتجاه أكثر بساطة. لكن الكرة لا تحاكي شكل الجيوئيد كما المجسّم الإهليلجي، ولذلك تستخدم في حالات محدودة.

بعد الحصول على هذا الشكل الرياضي المنتظم، أي المجسّم الإهليلجي أو الكرة، يمكننا **إسقاط** (projection) المعالم الجغرافية منه على سطح مستو للحصول على **الخريطة** (map).

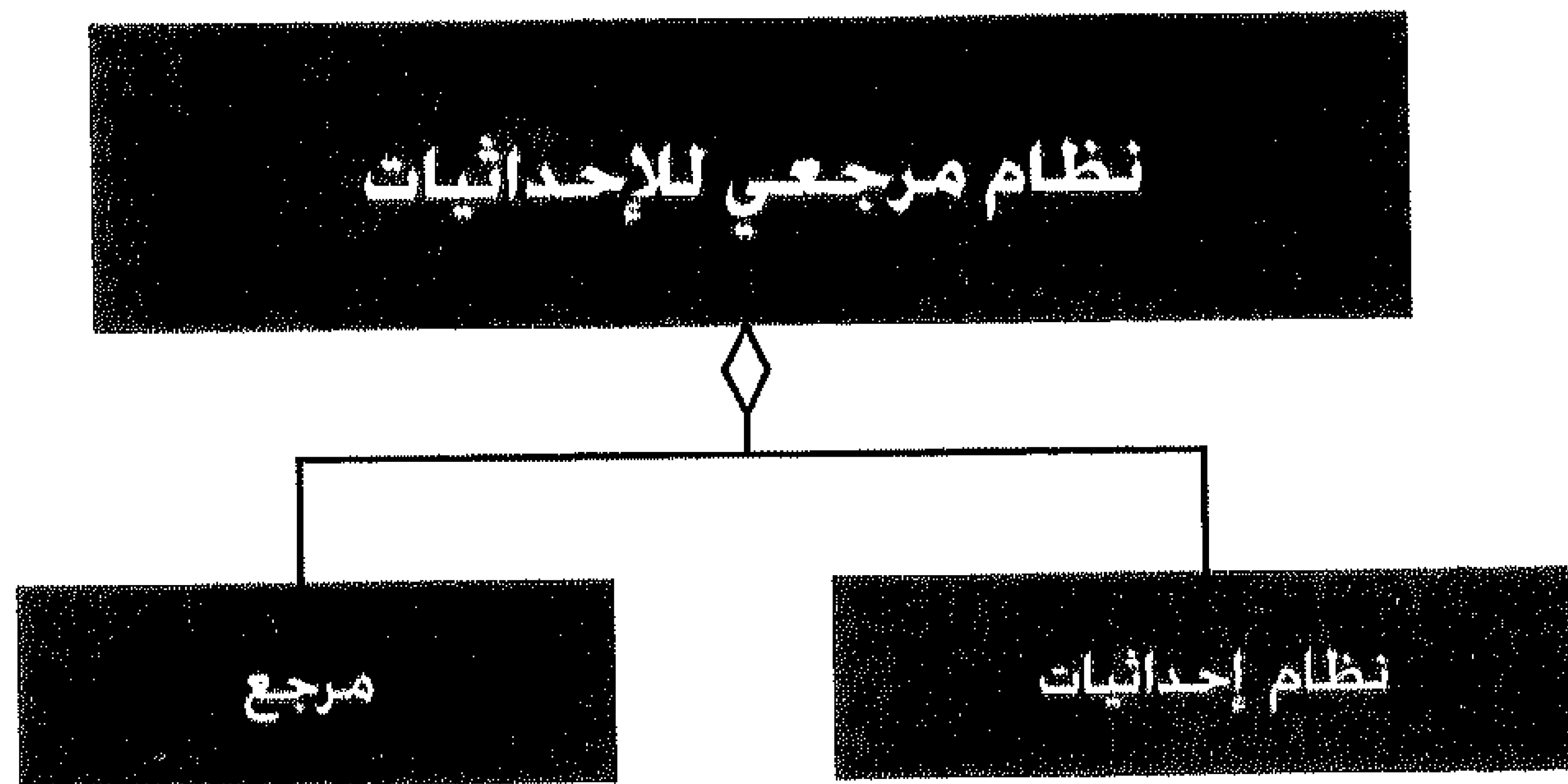


عرف العرب كروية الأرض منذ زمن بعيد، وقاسوا المسافات والاتجاهات بين المدن والأمصار كما حددوا اتجاه القبلة بحساب المثلثات الكروية ما يدل على اعتقادهم الجازم بكروية الأرض. ويقول ابن خرداذبة (820 - 912 م) في كتاب المسالك والممالك:

"صفة الأرض أنها مدورة كتدوير الكرة، موضوعة في جوف الفلك كالمحّة في جوف البيضة".

3.2. نظام الإحداثيات المرجعي

كما مر معنا في فصل المواصفات القياسية، يتألف نظام الإحداثيات المرجعي (coordinate reference system: CRS) من نظام إحداثيات ومرجع يمنحه صلة بالأرض:



الشكل 3-3 مكونات نظام الإحداثيات المرجعي

تعتمد طبيعة نظام الإحداثيات المرجعي على طبيعة المكونات الداخلة في تركيبه. فالنظام المرجعي للإحداثيات الراسية مثلاً يتألف من مرجع رأسي ونظام إحداثيات رأسية، والنظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية يتألف من مرجع جيوديسي ونظام إحداثيات جيوديسية، وهكذا.

3.2.1. أنواع أنظمة الإحداثيات

- **نظام إحداثيات جيوديسية** (geodetic coordinate system) أو نظام إحداثيات إهليلجية (ellipsoidal coordinate system): نظام إحداثيات ثنائي أو ثلاثي الأبعاد يُحدَّد فيه الموقع من خلال خط العرض الجيوديسي (أو خط العرض الإهليلجي) وخط الطول الجيوديسي (أو خط الطول الإهليلجي)، وعندما يكون النظام ثلاثي الأبعاد يضاف إليهما الارتفاع الجيوديسي (أو الارتفاع الإهليلجي).
- **نظام إحداثيات ديكارتية** (cartesian coordinate system): نظام إحداثيات يسند مواقع النقاط إلى محور مستقيم وحيد عندما يكون أحادي البعد، وإلى محورين أو ثلاثة عندما يكون ثنائي وثلاثي الأبعاد، وفي الحالتين الأخيرتين تكون المحاور متعامدة ولها وحدة القياس ذاتها.
- **نظام إحداثيات معتمدة على الجاذبية** (gravity-related coordinate system) أو نظام إحداثيات رأسية (vertical coordinate system): نظام إحداثيات أحادي البعد يعتمد على حقل جاذبية الأرض ويستخدم لتسجيل ارتفاع (أو عمق) النقاط.

3.2.2. أنواع المراجع

- **مرجع جيوديسي** (geodetic datum): يعرّف صلة النظام المرجعي للإحداثيات (الجغرافية وأرضية المركز) بالأرض. يُعرَّف المرجع باسمه وبالنموذج المستخدم فيه لتمثيل الأرض؛ أي المجسّم الإهليلجي (أو الكرة في حالة التقريب الثاني)؛ وخط الزوال الرئيسي الذي يكون مبدأ لخطوط الطول، ووحدة القياس.
- **مرجع رأسي** (vertical datum): يعرّف الصلة بين الأرض ونظام الإحداثيات المعتمدة على الجاذبية.
- **مرجع زماني** (temporal datum): يحدد مبدأ النظام المرجعي الزماني.

3.2.3. أنواع نظام الإحداثيات المرجعي

- يتألف **النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية** (geographic coordinate reference system) من مرجع جيوديسي ونظام إحداثيات جيوديسية.
- يتألف **النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز** (geocentric coordinate reference system) من مرجع جيوديسي أيضاً، ولكنه يعالج انحناء الأرض من خلال معاينة ثلاثية الأبعاد باستخدام نظام إحداثيات ديكارتية يقع مبدؤه في مركز كتلة الأرض.

- يتشابه النظامان السابقان باعتمادهما على مرجع جيوديسي، وإن كانا يعالجان الإحداثيات بطريقتين مختلفتين، ولذلك يمكن تسمية كلا النظامين **النظام المرجعي للإحداثيات الجيوديسية** (geodetic coordinate reference system).
- يعتمد **النظام المرجعي للإحداثيات المُسْقَطة** (projected coordinate reference system) على نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية ويستخدم أساليب إسقاط الخريطة لتغيير الإحداثيات على مستو.



تسمى الإحداثيات المسقطة أيضاً **الإحداثيات التربيعية** (grid coordinates) أو **الإحداثيات المستوية** (plane coordinates) أو **إحداثيات الخريطة** (map coordinates).

- يستخدم **النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية** (vertical coordinate reference system) لتسجيل ارتفاع أو عمق النقاط.
- يستخدم **النظام المرجعي للإحداثيات الزمانية** (temporal coordinate reference system) لتسجيل الوقت بالاعتماد على مرجع زماني.
- يصف **النظام المرجعي للإحداثيات المركّبة** (compound coordinate reference system) موقع النقاط أفقياً باستخدام نظام إحداثيات مرجعي، ورأسياً من خلال نظام إحداثيات مرجعي آخر، ويمكن إضافة البعد الرابع من خلال نظام مرجعي ثالث للإحداثيات الزمانية.
- يوفر **النظام المرجعي للإحداثيات الهندسية** (engineering coordinate reference system) السهولة في تحديد المواقع. تكون هذه الإحداثيات دقيقة ولكنها محلية أي منسوبة إلى نقطة ذات معنى في منطقة الدراسة، مثل ركن مبنى. ليس لهذه الإحداثيات أي علاقة بالأماكن البعيدة عن منطقة الدراسة أو الإحداثيات المقيسة في ذات المنطقة في وقت آخر. يستخدم النظام المرجعي للإحداثيات الهندسية في البيانات المكانية غير المُسنَدة جغرافياً، مثل رسوم التصميم بالحاسوب (CAD) عندما لا يكون لموقع التصميم أهمية، وفي بعض الأعمال المساحية التي تُرصد فيها النقاط انطلاقاً من نقطة محلية، وفي البيانات المتسامتة التي تقاس إحداثياتها انطلاقاً من الزاوية العليا اليسرى للصورة.

3.3. الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجيوديسية

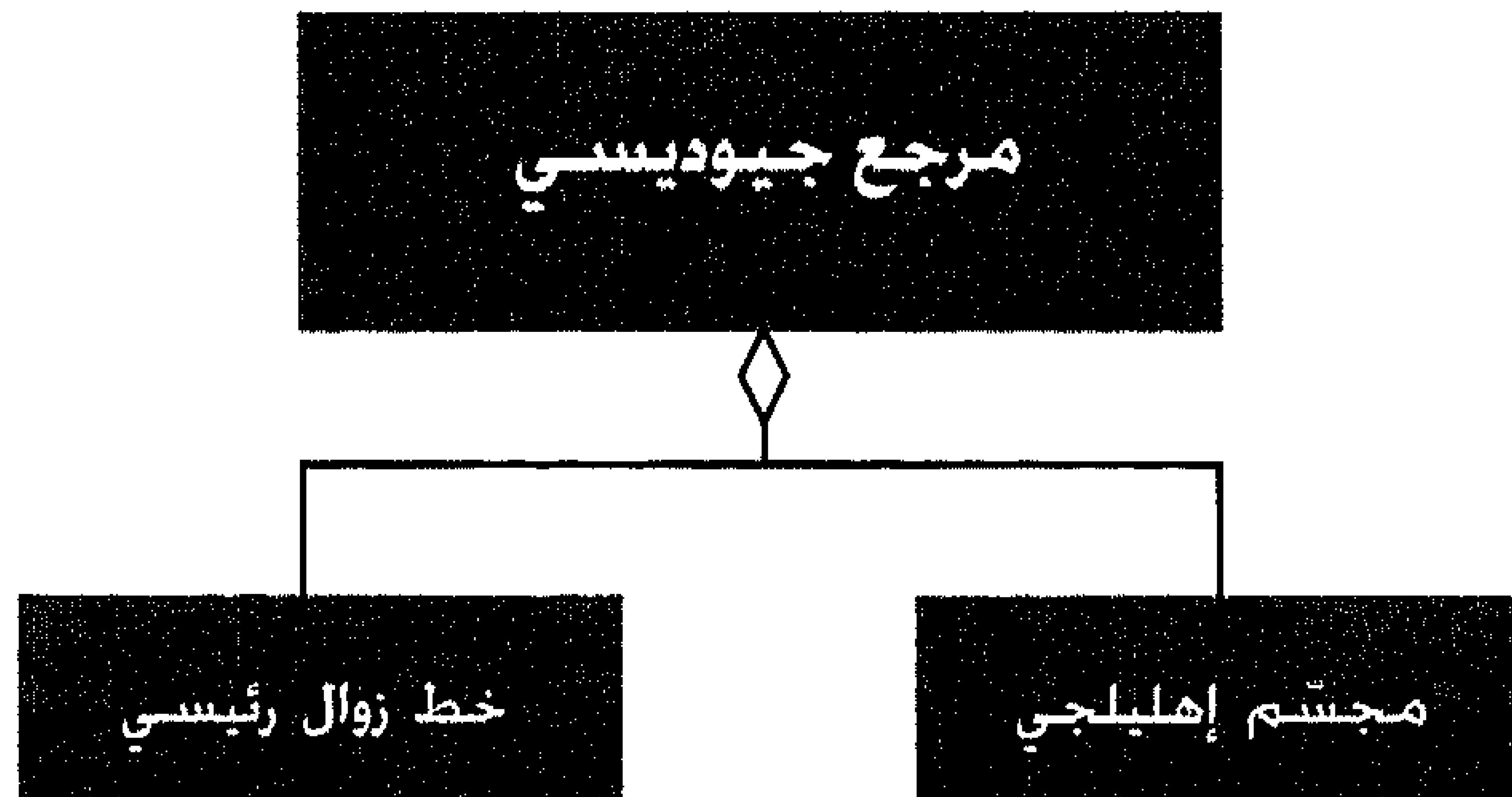
ثمة نوعان من الأنظمة المرجعية للإحداثيات التي تعتمد على المراجع الجيوديسية:

- النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية: يستخدم مرجعاً جيوديسياً ونظام إحداثيات جيوديسية ويعبر فيه عن إحداثيات النقاط بزاويتي العرض والطول والارتفاع الجيوديسية (أو الإهليلجية).
- النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز: يستخدم مرجعاً جيوديسياً ونظام إحداثيات ديكارتية ثلاثي المحاور ويعبر فيه عن إحداثيات النقاط بالإحداثيات X وY وZ أرضية المركز.

ومن المهم معرفة المرجع الجيوديسي المستخدم في الأنظمة المرجعية للإحداثيات التي تعتمد مرجعاً جيوديسياً، لأن قيم إحداثيات نقطة ما تختلف باختلاف المرجع المستخدم، نظراً لعدم انطباق مراكز ومحاور المراجع الجيوديسية واختلاف أقطارها. هذا يعني أن اختلاف قيم الإحداثيات لنقطة بين خريطتين لا يعود بالضرورة إلى وجود أخطاء بل يرجع إلى سبب آخر هو قياس إحداثياتها بالنسبة إلى مراجع جيوديسية مختلفة يؤدي كل منها غرضاً محدداً.

3.3.1. المرجع الجيوديسي

يحدد **المرجع الجيوديسي** (geodetic datum) صلة نظام الإحداثيات المرجعي بالأرض، عندما تكون الإحداثيات جغرافية أو أرضية المركز. يُعرَّف المرجع الجيوديسي باسمه وبالنموذج المستخدم فيه لتمثيل الأرض أي المجسّم الإهليلجي (أو المجسّم الإهليلجي المقرّب إلى كرة) وخط الزوال الرئيسي الذي يكون مبدأ لخطوط الطول، ووحدة القياس.



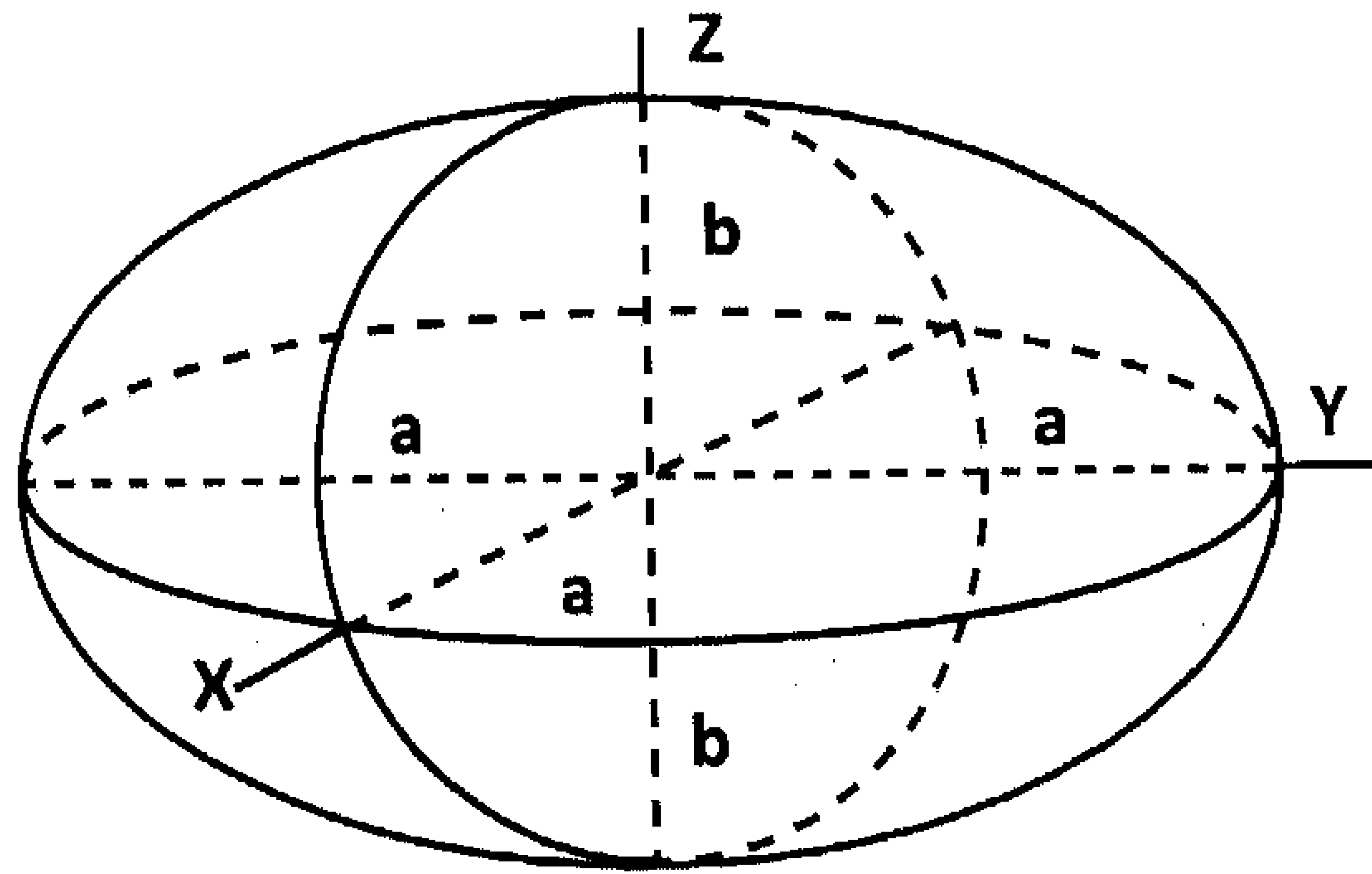
الشكل 3-4 مكونات المرجع الجيوديسي

لا يكفي المجسّم الإهليلجي إذاً لتعريف الإحداثيات تعريفاً فريداً، بل يتطلب ذلك اختيار العلاقة بين مركزه ومركز الأرض من جهة، وتعريف مبدأ القياس على سطح المجسّم الإهليلجي من جهة أخرى. ويمكننا النظر إلى المرجع الجيوديسي على أنه مجموع هذه الإعدادات معاً.

3.3.1.1. المجسَّم الإهليلجي

المجسَّم الإهليلجي (ellipsoid) هو سطح قريب من شكل الجيوئيد، ناتج من تدوير القطع الناقص حول محوره الصغير (محور دوران الأرض) الذي يصل بين القطبين، بحيث يطابق شكل الجيوئيد أفضل مطابقة. ونظراً لبساطته، يستخدم المجسّم الإهليلجي في تنفيذ قياسات الشبكة الجيوديسية وتعريف الإحداثيات.

يسمى المجسّم الإهليلجي أيضاً **المجسّم الإهليلجي الدوراني** (ellipsoid of rotation) نظراً لأنه ناتج من تدوير القطع الناقص حول محوره الصغير (القطبي) وبالتالي يتساوى طولا اثنين من أقطاره الثلاثة، تمييزاً عن المجسّم الإهليلجي **ثلاثي المحاور** (tri-axial ellipsoid) الذي يكون له ثلاثة أقطار مختلفة، ويسمى أيضاً **المجسّم الإهليلجي المفلطح** (oblate ellipsoid)، كما يسمى **المجسّم الكروي** (spheroid) لأنه شبيه بالكرة (sphere). وعلى الرغم من أن كلمة spheroid هي أقرب ما تكون إلى تاريخ الرياضيات، تستخدم هذه الكلمة في صيغة النص المعروف (WKT) بدلاً من ellipsoid.



الشكل 3-5 المجسّم الإهليلجي الدوراني

وإذا كان المجسّم الإهليلجي أقرب ما يكون لشكل الأرض؟ فما هي أبعاده؟

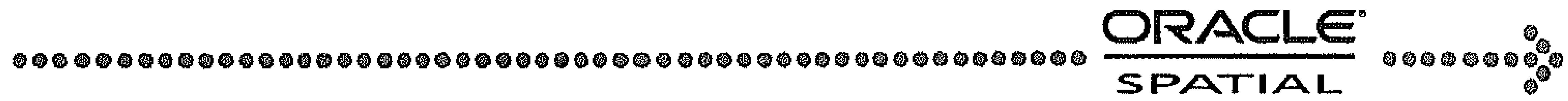
يتحدد شكل المجسّم الإهليلجي الدوراني المفلطح بواسطة **وسطاء** (parameters) القطع الناقص الذي يولّد هذا المجسّم الإهليلجي عند تدويره. يمثل نصف القطر الكبير a من القطع الناقص

نصف القطر الاستوائي في المجسّم الإهليلجي، ونصف المحور الصغير من القطع الناقص المسافة إلى القطب من مركز المجسّم. ومع أن هاتين القيمتين كافيتان لتمثيل المجسّم الإهليلجي، يمكن تعريف المجسّم الإهليلجي بطرق أخرى تؤول كلها إلى نصفي القطرين، مثل نصف القطر الكبير a ومقلوب التفلطح 1/f، حيث التفلطح f نسبة نصف القطر القطبي إلى نصف القطر الاستوائي:

$$f = \frac{a-b}{a}$$

المثال التالي يصف المجسّم الإهليلجي WGS 84 بصيغة النص المعروف (WKT) باستخدام نصف القطر الكبير ومقلوب التفلطح:

```
SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563]
```



تتوفر معلومات المجسّمات الإهليلجية في Oracle Spatial في الجدول MDSYS.SDO_ELLIPSOIDS. المثال التالي يوضح بعض معلومات المجسّم الإهليلجي WGS 84:

```
SQL> SELECT ELLIPSOID_ID, SEMI_MAJOR_AXIS, INV_FLATTENING FROM
MDSYS.SDO_ELLIPSOIDS WHERE ELLIPSOID_NAME = 'WGS 84' AND IS_LEGACY = 'FALSE';

ELLIPSOID_ID SEMI_MAJOR_AXIS INV_FLATTENING
------------ --------------- --------------
     7030       6378137   298.257224
```

تقوم الجهات العلمية المتخصصة بحساب نصفي القطرين الكبير والصغير بإجراء مجموعة واسعة من القياسات على مساحة شاسعة من الأرض. وقد تم اقتراح عدد كبير من المجسّمات الإهليلجية بأحجام ومراكز مختلفة بالنسبة لمركز كتلة الأرض، بعضها يطابق سطح الجيوئيد في منطقة محدودة، أما المجسّمات الإهليلجية الحديثة بعد ظهور نظام الملاحة بالأقمار الاصطناعية فينطبق مركزها مع المركز الفعلي لكتلة الأرض، ويطابق سطحها سطح الجيوئيد على مستوى العالم.

وفيما يلي جدول بنماذج المجسّمات الإهليلجية، بعضها كان له دور بارز في تاريخ الأعمال الجيوديسية، وأخرى حديثة ما تزال قيد الاستخدام، مرتبة حسب تاريخ ظهورها مع رمز EPSG:

المجسّم الإهليلجي	نصف القطر الاستوائي (م)	نصف القطر القطبي (م)	مقلوب التفلطح 1/f	الاستخدام	رمز EPSG
Plessis (1817)	6,376,523.0	6,355,862.9333	308.64	فرنسا	7027
Everest (1830)	6,377,299.365	6,356,098.359	300.80172554	الهند	7042
Everest 1830 (1967 Definition)	6,377,298.556	6,356,097.550	300.8017	بروناي وشرق ماليزيا	7016
Airy (1830)	6,377,563.396	6,356,256.909	299.3249646	بريطانيا	7001
Bessel (1841)	6,377,397.155	6,356,078.963	299.1528128	أوروبا واليابان	7004
Clarke (1866)	6,378,206.4	6,356,583.8	294.9786982	أمريكا الشمالية	7008
Clarke (1880)	6,378,249.145	6,356,514.870	293.465	فرنسا وأفريقيا	7034
Helmert (1906)	6,378,200	6,356,818.17	298.3		7020
International (1924)	6,378,388	6,356,911.946	297	أوروبا	7022
Krassowsky (1940)	6,378,245	6,356,863.019	298.3	الاتحاد السوفياتي	7024
Australian National (1966)	6,378,160	6,356,774.719	298.25	أستراليا	7003
GRS-67 (1967)	6,378,160	6,356,774.516	298.247167427		7036
WGS-72 (1972)	6,378,135	6,356,750.52	298.26	الولايات المتحدة (وزارة الدفاع)	7043
GRS-80 (1979)	6,378,137	6,356,752.3141	298.257222101	ITRS	7019
WGS 84 (1984)	6,378,137	6,356,752.3142	298.257223563	العالم (GPS)	7030
PZ-90 (1990)	6,378,136	6,356,751.3617	298.257839303	العالم (GLONASS)	7054

الجدول 3-1 نماذج المجسّمات الإهليلجية الشائعة

يعرّف المجسّم الإهليلجي أيضاً بنصف القطر الكبير a ومربع اللا مركزية (eccentricity) الأولى e^2:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

تسمى اللا مركزية أيضاً **التباعد المركزي**. أما مربع اللا مركزية الثانية e'^2 فيحسب من العلاقة:

$$e'^2 = \frac{e^2}{1-e^2}$$

ρ_φ **نصف قطر الانحناء** (radius of curvature) لخط الزوال عند زاوية العرض φ:

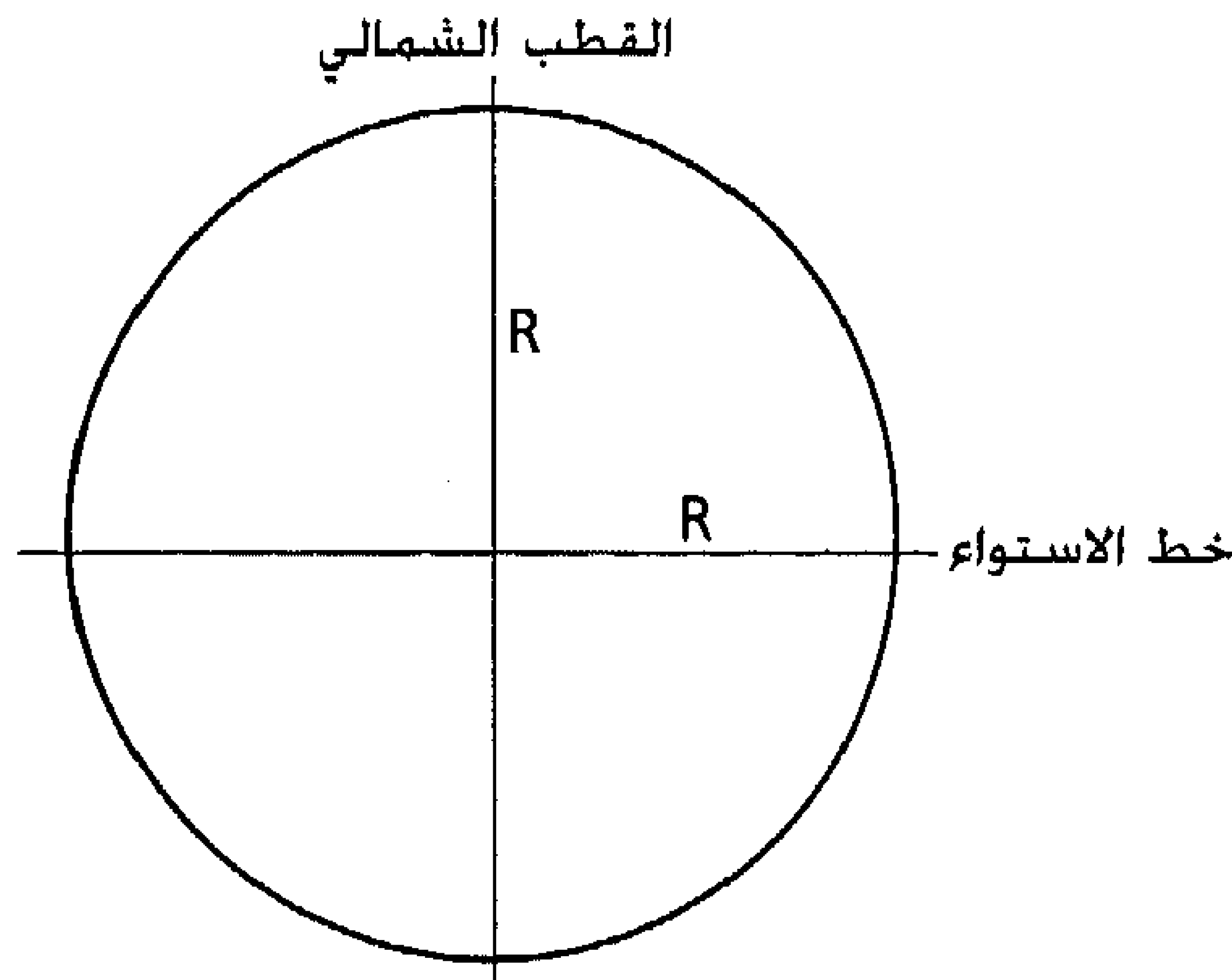
$$\rho_\varphi = \frac{a\,(1-e^2)}{(1-e^2\,sin^2\,\varphi)^{\frac{3}{2}}}$$

ν_φ نصف قطر الانحناء في **الناظم الأعظم** (prime vertical)؛ أي عند مستو عمودي على كلٍّ من المجسّم الإهليلجي وخط الزوال المار بالنقطة (φ, λ)

$$\nu_\varphi = \frac{a}{\sqrt{(1-e^2\,sin^2\,\varphi)}}$$

3.3.1.2. الكرة

لا يتجاوز الفرق بين نصفي محوري المجسّم الإهليلجي 22 كيلومتراً، ويمكن تشبيه هذا التفلطح برسم دائرة قطرها متر واحد ثم الضغط عليها من جهة القطبين لتصغير قطرها 2 ملم. يوضح هذا التشبيه حجم المبالغة التي نميل إليها في إبراز الفرق بين نصفي محوري المجسّم الإهليلجي في الأشكال التوضيحية عادة، ويفسر لماذا يستخدم مقلوب التفلطح 1/f بدلاً من التفلطح عند تعريف المجسّم الإهليلجي المستخدم.



الشكل 3-6 الكرة بديلاً عن المجسّم الإهليلجي

يسمح الفرق الصغير بين نصفي قطري المجسّم الإهليلجي بتقريب شكل المجسّم الإهليلجي إلى كرة في بعض الحالات، مثل أعمال المساحة على أرض صغيرة أو عندما لا تتطلب هذه الأعمال دقة كبيرة، ويمكن أيضاً تقريب شكل المجسّم الإهليلجي إلى كرة عند إعداد خرائط بمقياس صغير.

يحسب نصف قطر R للكرة البديلة عن المجسّم الإهليلجي بعدة طرق منها:

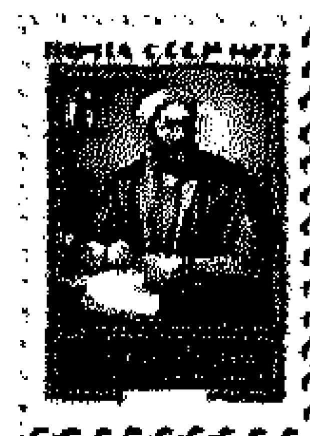
- نصف قطر **الكرة مساوية المساحة** (authalic sphere) وهو نصف قطر الكرة التي تساوي مساحة سطحها مساحة سطح المجسّم الإهليلجي:

$$R_A = a\sqrt{\frac{\left(1-\left(\frac{(1-e^2)}{(2\,e)}\right)\left(ln\left(\frac{(1-e)}{(1+e)}\right)\right)\right)}{2}}$$

- يستخدم نصف قطر **الكرة المطابقة** (conformal sphere) في بعض أنواع الإسقاط المطابق عندما تستخدم الكرة تقريباً للمجسّم الإهليلجي. يعتمد نصف قطر الكرة المطابقة على زاوية العرض ولا يكون ثابتاً:

$$R_C = \sqrt{\rho_\varphi\, \nu_\varphi}$$

حيث ρ_φ نصف قطر الانحناء لخط الزوال عند زاوية العرض φ، و ν_φ نصف قطر الانحناء في الناظم الأعظم (انظر 3.3.1.1 المجسّم الإهليلجي).



قاس أبو الريحان البيروني (Abū Rayḥān al-Bīrūnī) في العام 1023 قطر الأرض بطريقة المثلثات كما شرحها في كتاب "القانون المسعودي"، بالاستعانة بجبل مرتفع يطل على سهل. قاس البيروني ارتفاع الجبل، ثم رصده من على مسافة درجة، ووجد طول القوس الذي يقابل درجة واحدة فحسب منه قطر ومحيط الأرض، فكانت نتيجة القياس قريبة جداً من القياسات الحديثة:

$$a = b = 6{,}339{,}600.00\ m$$

المثال التالي بصيغة النص المعروف (WKT) يصف الكرة المعتمدة على المجسّم الإهليلجي International 1924 ورمزها 7057 في قاعدة بيانات EPSG باستخدام نصف القطر، حيث يساوي مقلوب التفلطح 0:

```
SPHEROID["International 1924 Authalic Sphere",6371228,0]
```

3.3.1.3. المرجع الجيوديسي WGS 84

WGS 84 (World Geodetic System) هو اسم لثلاثة أشياء معاً: المجسّم الإهليلجي، والمرجع الجيوديسي الذي يعتمد ذلك المجسّم الإهليلجي، وكذلك النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية المبني على ذلك المرجع الجيوديسي.

يُعدّ المرجع الجيوديسي WGS 84 من المراجع الجيوديسية المهمة، وذلك للأسباب التالية:

- مستخدم في نظام الإحداثيات المرجعي في نظام تحديد المواقع العالمي GPS، وبالتالي فإن قيم الإحداثيات التي يوفرها هذا النظام منسوبة إلى هذا المرجع الجيوديسي، مع العلم أن لنظام GPS أهمية كبرى في الأعمال المساحية وأنظمة الملاحة وتطبيقات الخرائط لما يوفره من دقة وسهولة.
- صالح للتطبيقات التي تتطلب نظاماً مرجعياً يحقق التوافقية على مستوى العالم، من غير حاجة إلى إجراء عمليات التحويل على الإحداثيات، ولذلك تنتقل بعض الدول تدريجياً إلى استخدام هذا المرجع الجيوديسي بدلاً من المراجع الجيوديسية المحلية التي أدخلت عليها بعض التعديلات لتناسب منطقتها.
- مقارنة بالمراجع الجيوديسية الأخرى، يُعدّ WGS 84 أكثر دقة في تمثيل النماذج الحديثة من الجيوئيد، ولا يتجاوز الخطأ في تمركزه مع كتلة الأرض 2 سم، ويراوح الفرق بينه وبين الجيوئيد المبني على نموذج الجاذبية EGM96 بين 105- أمتار في المحيط الهندي و 85+ متراً في الجزء الشمالي من المحيط الأطلسي، وذلك بفضل التقنيات الحديثة واستخدام الأقمار الاصطناعية في تحديد شكل الأرض.

يرمز للمرجع الجيوديسي WGS 84 في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 6326. النص المعروف التالي يصف هذا المرجع:

```
DATUM["WGS_1984",
    SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563]],
  PRIMEM["Greenwich",0],
  UNIT["degree",0.0174532925199433]]
```

يستخدم المرجع الجيوديسي WGS 84 مركز كتلة الأرض مبدأ للإحداثيات، وبما أن هذا المركز ليس موقعاً جغرافياً ثابتاً بل يتغير نتيجة لعوامل مختلفة منها حركة الصفيحات القارية، تم تعديل المرجع الجيوديسي WGS 84 عدة مرات بتحديث الإحداثيات القديمة لمحطات GPS الأرضية وتحويلها بالاعتماد على ITRF، ونتيجة لذلك يرتبط الآن المرجع الجيوديسي WGS 84 بالإطار

المرجعي الأرضي الدولي (انظر 3.3.4 النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي).

يبين الجدول التالي إصدارات النظام WGS 84 ومقدار التعديل على إحداثيات المحطات المرجعية الأرضية التي يتألف منها النظام لتتوافق مع الإطار المرجعي ITRF، والتوافق بعد التعديل بين إحداثيات نقطة حسب WGS 84 أو ITRF:

إصدارة WGS 84	مقدار التعديل	التاريخ	متوافقة مع الإطار	التوافق في قياس الإحداثيات بين WGS وITRF
WGS 84 (G1150)	6 سم	20/1/2002	ITRF2000	1 سم
WGS 84 (G873)	20 سم	29/1/1997	ITRF94	2 سم
WGS 84 (G730)	70 سم	29/6/1994	ITRF91	10 سم

الجدول 3-2 توافق إصدارات WGS 84 مع ITRF (NIMA, 2000) و (EPSG, 2007)



تتوفر معلومات المراجع الجيوديسية (مع أنواع المراجع الأخرى) في Oracle Spatial في الجدول MDSYS.SDO_DATUMS. المثال التالي يوضح بعض معلومات المرجع الجيوديسي WGS 84:

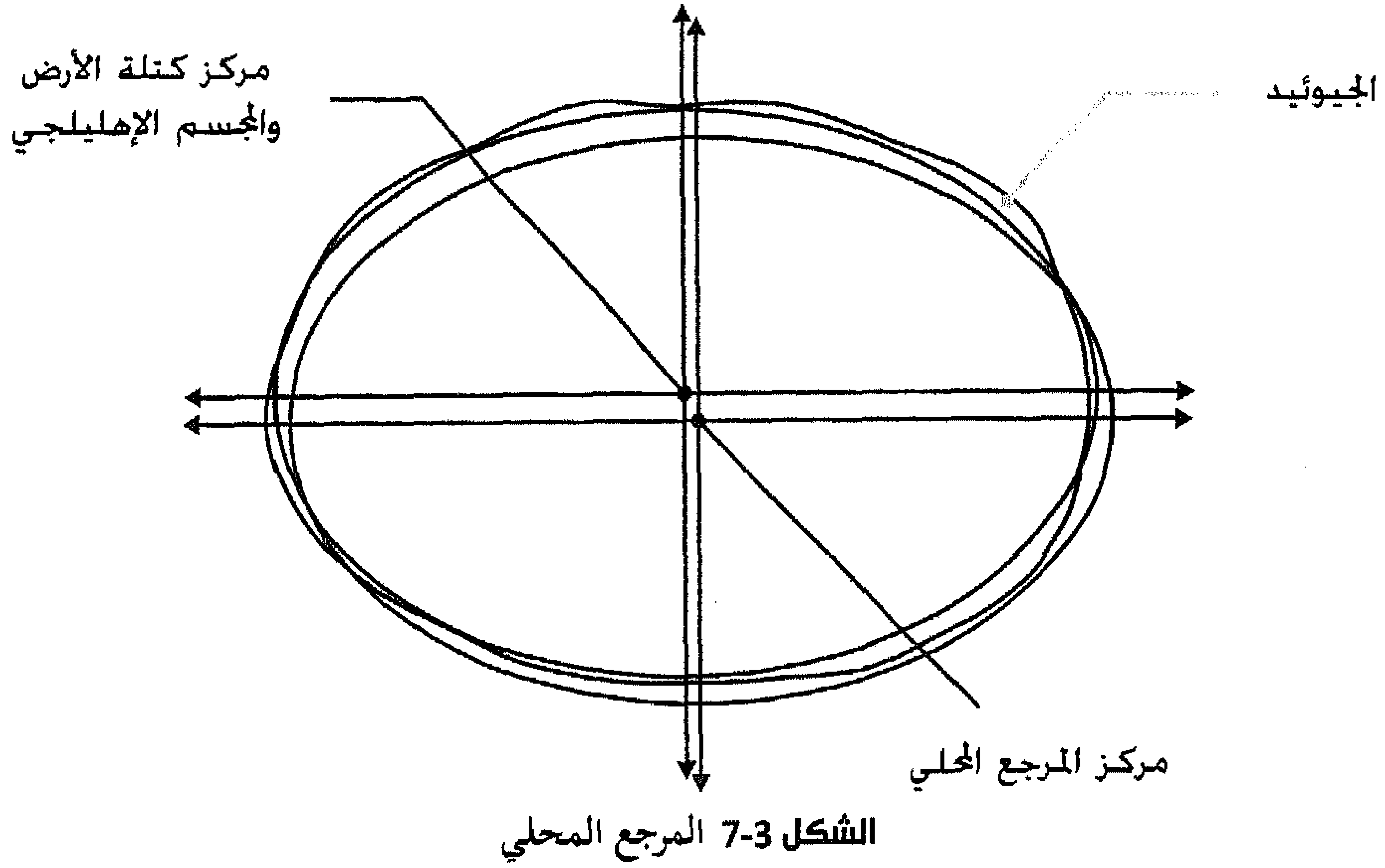
```
SQL> SELECT "DATUM_ID", "DATUM_NAME", "DATUM_TYPE", "ELLIPSOID_ID",
"PRIME_MERIDIAN_ID" FROM "MDSYS"."SDO_DATUMS" WHERE DATUM_NAME = 'World
Geodetic System 1984'

ELLIPSOID_ID SEMI_MAJOR_AXIS INV_FLATTENING
------------- --------------- ------------
     7030       6378137    298.257224
```

3.3.1.4. المرجع الجيوديسي المحلي

تقع مراكز المجسّمات الإهليلجية الحديثة في مركز كتلة الأرض، وتطابق شكل الجيوئيد العام. ولكن استخدام هذه المجسّمات الإهليلجية العالمية لن يكون مناسباً لكل منطقة. لذلك كانت الجهات المختصة تقوم بعد اختيار المجسّم الإهليلجي المناسب بتحريكه وتوجيهه بحيث يطابق سطح الجيوئيد المحلي في تلك المنطقة أفضل مطابقة، حتى لو أدى ذلك إلى ابتعاد المجسّم الإهليلجي عن الجيوئيد في المناطق الأخرى من العالم، ولذلك تسمى المراجع المعتمدة على مجسّمات إهليلجية

محلية **المراجع المحلية** (local datums)، ويقتصر استخدامها على منطقة، أو دولة، أو إقليم، حسب المساحة الجغرافية التي أخذت في الحسبان في تحريك وتوجيه المجسّم الإهليلجي.



الشكل 3-7 المرجع المحلي

المرجع الجيوديسي المحلي ليس نوعاً خاصاً من المراجع فهو مرجع جيوديسي في نهاية المطاف، ولكن هذا المصطلح يستخدم للتفريق بين المراجع الجيوديسية العالمية مثل WGS 84 والمراجع الجيوديسية التي تم تعديلها محلياً، ولذلك لا تأتي المواصفة القياسية ISO 19111 على ذكر مصطلح المرجع الجيوديسي المحلي.

تعتمد إحدى طرق إنشاء المرجع المحلي على تحريك وتوجيه المجسّم الإهليلجي بالاعتماد على نقطة واحدة تكون عادة في منتصف الشبكة الجيوديسية (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية).

تسمى النقطة التي يتم تحريك وتوجيه المجسّم الإهليلجي بالاعتماد عليها **النقطة الأولية** (initial point or fundamental point) أو **أصل المرجع** (datum origin)، وتسمى في ISO 19111 **نقطة إرساء المرجع** (datum anchor point). تُرصد إحداثيات نقطة الأصل والسمت (الاتجاه) منها إلى نقطة أخرى في الشبكة الجيوديسية باستخدام طرق فلكية. وتقبل هذه الإحداثيات الفلكية والسمت وتُعدّ مساوية — من دون إدخال أية تصحيحات - للإحداثيات الجغرافية وسمت نقطة الأصل على المجسّم الإهليلجي.

"تهدف هذه الخطوة إلى التخلص من انحراف الشاقول في أصل المرجع، لأن الفرق بين الإحداثيات الفلكية والإحداثيات الجغرافية لنقطة هو قيمة انحراف الشاقول فيها. إن التخلص من هذا

الانحراف يؤدي إلى تحسين الأعمال المساحية التي تعاني قياساتها تشوهاً بحدود سنتيمترات أو عشرات السنتيمترات في كل كيلومتر نتيجة انحراف الشاقول في نقاط القياس. بعبارة أخرى يُوجّه المجسّم الإهليلجي ليصبح موازياً أكثر لسطح الجيوئيد في المنطقة، بحيث يتطابق الشاقول والناظم على المجسّم الإهليلجي في نقطة الأصل". (The Defence Agency, 1983)

الشكل 3-8 نقاط إرساء المراجع الجيوديسية في المنطقة العربية

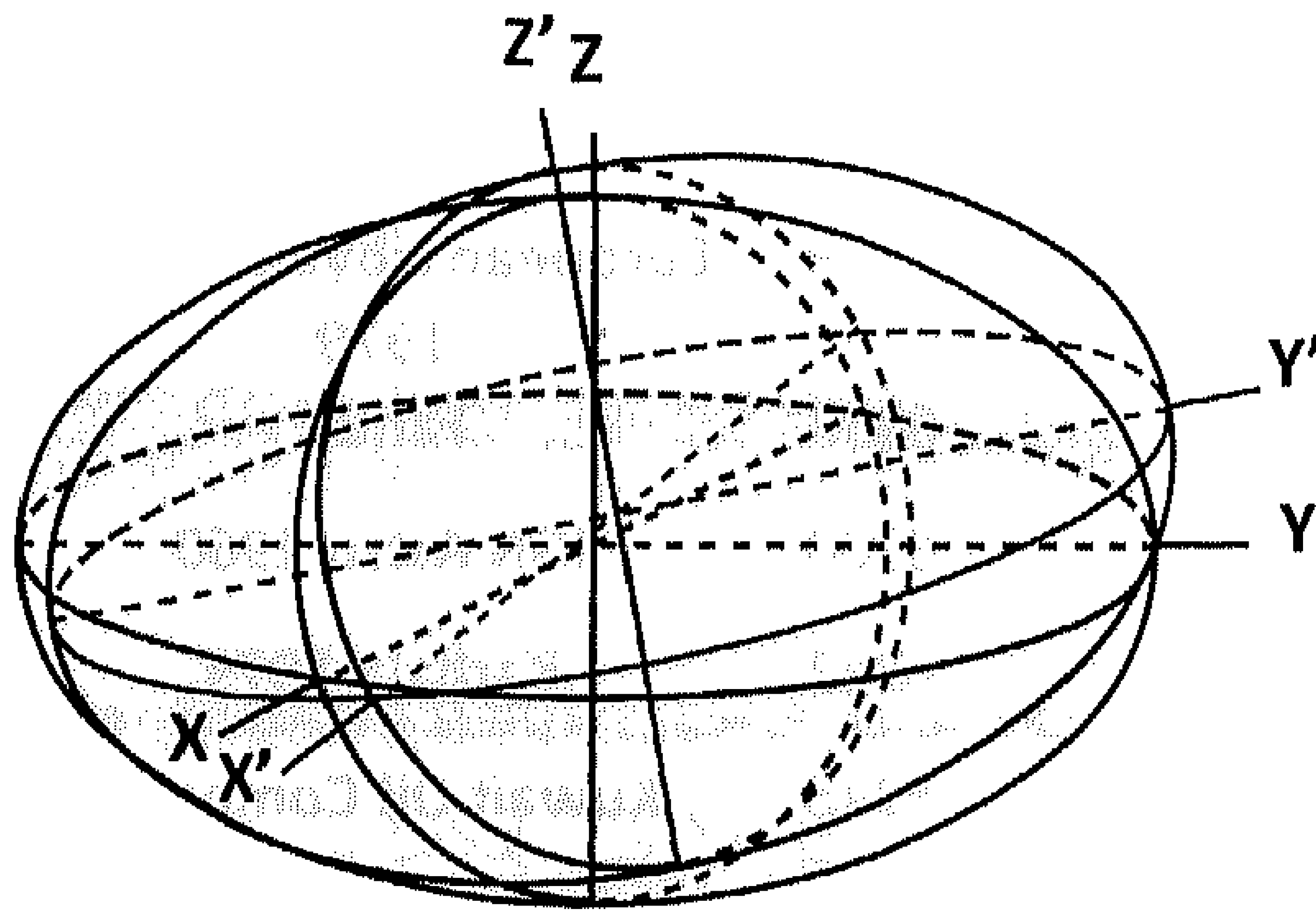
في خطوة ثانية، يُحسب تموّج الجيوئيد بدقة في نقطة الأصل، ثم تُعدّ قيمة التموّج صفراً. هذا غير صحيح لو بقي المجسّم الإهليلجي في موقعه الأصلي، ولكن يمكن تحقيقه برفع أو خفض المجسّم الإهليلجي بحيث تكون المسافة بينه وبين سطح الجيوئيد معدومة. تهدف هذه الخطوة إلى اختيار موقع المجسم الإهليلجي بحيث يكون أكثر انطباقاً على سطح الجيوئيد في المنطقة، ما يساعد على إنجاز الأعمال المساحية بسهولة أكبر". (The Defence Agency, 1983)

يساعد تحريك المجسّم الإهليلجي إلى الأعلى أو الأسفل في أصل المرجع إلى إلغاء تموّج الجيوئيد فيها، لكن ذلك يؤدي إلى الزيادة في تموّجه في الأماكن الأخرى. ثمة طريقة أخرى لتوجيه المجسّم الإهليلجي باستخدام **معادلة لابلاس** (Laplace equation) تساعد على تقليل تموّج الجيوئيد في عدة نقاط من الشبكة، بدلاً من تقليله في نقطة واحدة فقط.

بعد ظهور نظام تحديد المواقع العالمي في العام 1980 لم يعد الاعتماد على نقطة واحدة في إرساء المرجع أمراً عملياً، وبدلاً من ذلك يُحدّد المرجع من خلال تطبيق تلك الشروط معينة على الإحداثيات المحسوبة لجميع النقاط، بحيث لا يكون لأي منها أهمية خاصة، ما يسمح بتعريف المرجع الجيوديسي بدقة أعلى وتحليل الأخطاء بطرق أكثر بساطة.

ويجب الإشارة إلى ضرورة إجراء قياس الإحداثيات والسمت الفلكي وتموّج الجيوئيد لأصل المرجع المحلي بدقة عالية، وذلك لأن دقة المرجع المحلي تعتمد بصورة كبيرة على هذه القياسات، ولأن وجود أخطاء فيها يؤثر في دقة إحداثيات جميع النقاط على المرجع، كما تؤثر أيضاً في تحويل الإحداثيات بين الأنظمة المرجعية التي تعتمد مراجع مختلفة.

إن تحريك المجسّم الإهليلجي العالمي وتوجيهه بحيث يبتعد عن مركزه وينحرف عن محاوره السابقة ليناسب منطقة بعينها يجعل المرجع المعتمد عليه مرجعاً جيوديسياً محلياً، وتكون إحداثيات المعالم منسوبة إليه ولا يمكن استخدامها مع خرائط منطقة أخرى.



الشكل 3-9 تحريك وتوجيه المجسّم الإهليلجي

هذا يعني أن المجسّم الإهليلجي Clarke 1880 (IGN) المستخدم في المرجع المحلي السوري Deir ez Zor الذي يرمز له بـ 4227 في قاعدة بيانات EPSG لا يتطابق مع المجسّم الإهليلجي Clarke 1880 (IGN) المستخدم في المرجع المحلي المغربي Merchich الذي يرمز له بـ 4261، وإن كان لهما ذات القطرين، فمركزاهما ومحاورهما تبعد عن الأخرى مسافة تصل إلى بضع مئات من الأمتار، لأن الجهات المختصة في كلا البلدين قامتا بتحريك وتوجيه المجسّم الإهليلجي Clarke 1880 (IGN) الأصلي ليناسب سطح الجيوئيد المحلي.

الجدول التالي يبين المراجع الجيوديسية المحلية المستخدمة في المنطقة العربية مع رمز EPSG والمناطق التي تستخدم فيها هذه المراجع والمجسّمات الإهليلجية التي تعتمد عليها هذه المراجع:

المرجع الجيوديسي المحلي	رمز PSG	مجال الاستخدام	المجسّم الإهليلجي
Adindan	6201	السودان، وأرتيريا	Clarke 1880 (RGS)
Afgooye	6205	الصومال	Krassowsky 1940
Ain el Abd 1970	6204	السعودية والبحرين والكويت	International 1924
Ayabelle Lighthouse	6713	جيبوتي	Clarke 1880 (RGS)
Carthage	6223	تونس	Clarke 1880 (IGN)
Deir Ez Zor	6227	سوريا ولبنان (البر)	Clarke 1880 (IGN)
Egypt 1907	6229	مصر	Helmert 1906
Egypt 1930	6199	مصر (البر)	International 1924
European 1950	6230	فلسطين (البحر)، الأردن، العراق (البر)، ومصر (الصحراء الغربية)	International 1924
European Libyan Datum 1979	6159	ليبيا	International 1924
Fahud	6232	عُمان (البر)	Clarke 1880 (RGS)
IGN Astro 1960	6700	موريتانيا	Clarke 1880 (RGS)
Karbala 1979	6743	العراق (البر)	Clarke 1880 (RGS)
Kuwait Oil Company	6246	الكويت (البر)	Clarke 1880 (RGS)
Libyan Geodetic Datum 2006	6754	ليبيا	International 1924
Merchich	6261	المغرب (البر)	Clarke 1880 (IGN)
Mauritania 1999	6702	موريتانيا	GRS 1980
Nord Sahara 1959	6307	الجزائر (البر)	Clarke 1880 (RGS)
Nahrwan 1967	6270	الخليج العربي، العراق، الكويت، قطر (البحر)، والإمارات	Clarke 1880 (RGS)
Palestine 1923	6281	الأردن، وفلسطين (البر)	Clarke 1880 (Benoit)
Qatar 1948	6286	قطر (البر)	Helmert 1906
Qatar 1974	6285	قطر (البر)	International 1924
Qatar National Datum 1995	6614	قطر (البر)	International 1924
Voirol 1879	6671	الجزائر (شمالي 32 درجة)	Clarke 1880 (IGN)

الجدول 3-3 المراجع الجيوديسية المحلية المستخدمة في المنطقة العربية

بفضل التطورات التقنية مثل الأقمار الاصطناعية والبرامج الحاسوبية المتخصصة تتضاءل الحاجة إلى تعديل المراجع الجيوديسية، وتتحول العديد من البلدان إلى استخدام المرجع الجيوديسي WGS 84 لأن نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) يستخدم قياسات لتحديد المواقع تعتمد على هذا المرجع الذي ينطبق مركزه مع مركز الأرض. يساعد هذا التحول على الاستفادة من قياسات نظام تحديد المواقع العالمي، وتجنب تحويل البيانات التي يجمعها نظام GPS بالاعتماد على المرجع الجيوديسي WGS 84 إلى إحداثيات المرجع المحلي.

إن الانتقال إلى هذه المراجع الجيوديسية الحديثة والدقيقة تؤدي إلى تغيير القيم السابقة لإحداثيات جميع المعالم في الدولة، وبالتالي تتطلب عملية الانتقال تعديل جميع الخرائط والوثائق ذات الصلة بها، ما يعني أنها عملية تحتاج إلى الكثير من الموارد المالية والتقنية. ومن الأمثلة على الجهات التي تحولت إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 إمارتا دبي وأبو ظبي في دولة الإمارات العربية المتحدة.

3.3.1.5. لمحة عن الإحداثيات الفلكية

لا يمتلك نظام الإحداثيات الفلكية حالياً أهمية في التطبيقات العامة للتقنيات المكانية، ولكن كان للقياسات الفلكية أهمية كبرى عند تعريف المرجع المحلي.

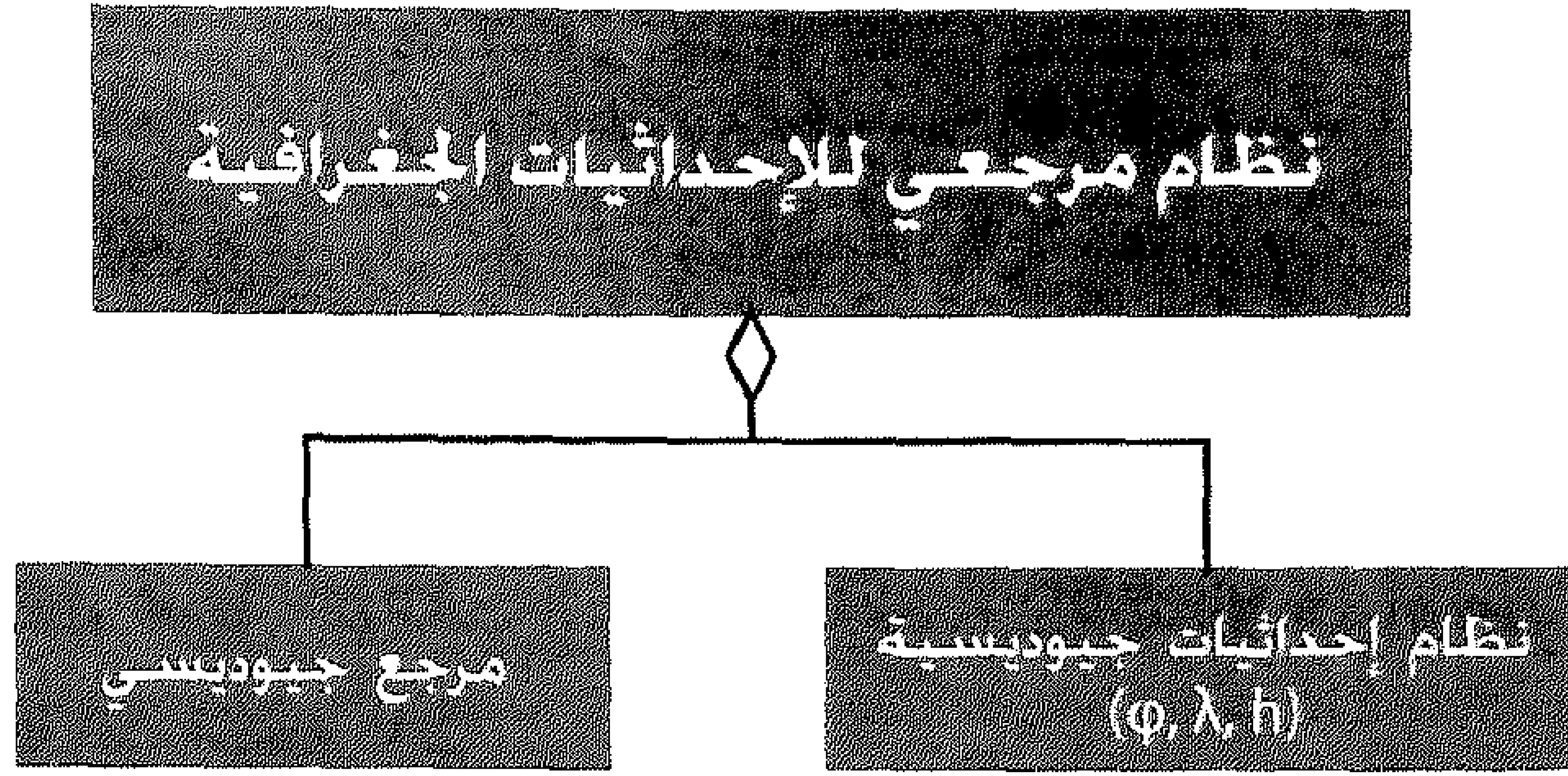
تقاس الإحداثيات الفلكية بالاعتماد على أجرام سماوية، عادة النجوم، وبالتالي لا تتعلق هذه الإحداثيات بمدى معرفتنا بشكل الأرض أو فرضيات تبسيط شكل الأرض. يمكننا ببساطة معرفة إحداثيات موقعنا على الأرض بمعرفة موقع النجم في السماء.

زاوية العرض الفلكي (astronomical latitude) هي الزاوية التي يصنعها الشاقول في تلك النقطة (سمت الرأس) مع مستوي **الاستواء السماوي** (celestial equator)، أما **زاوية الطول الفلكي** (astronomical longitude) لنقطة فهي الزاوية بين مستوي زوال النقطة ومستوي زوال مرجعي، حيث مستوي زوال النقطة هو المستوي المار بشاقولها وبالخط الواصل بين القطبين السماويين.

هذا يعني أن الإحداثيات الفلكية لنقطة على سطح الأرض قريبة جداً من إحداثياتها الجغرافية، وأن الفرق بين الإحداثيات الفلكية والإحداثيات الجغرافية لنقطة هو قيمة انحراف الشاقول فيها.

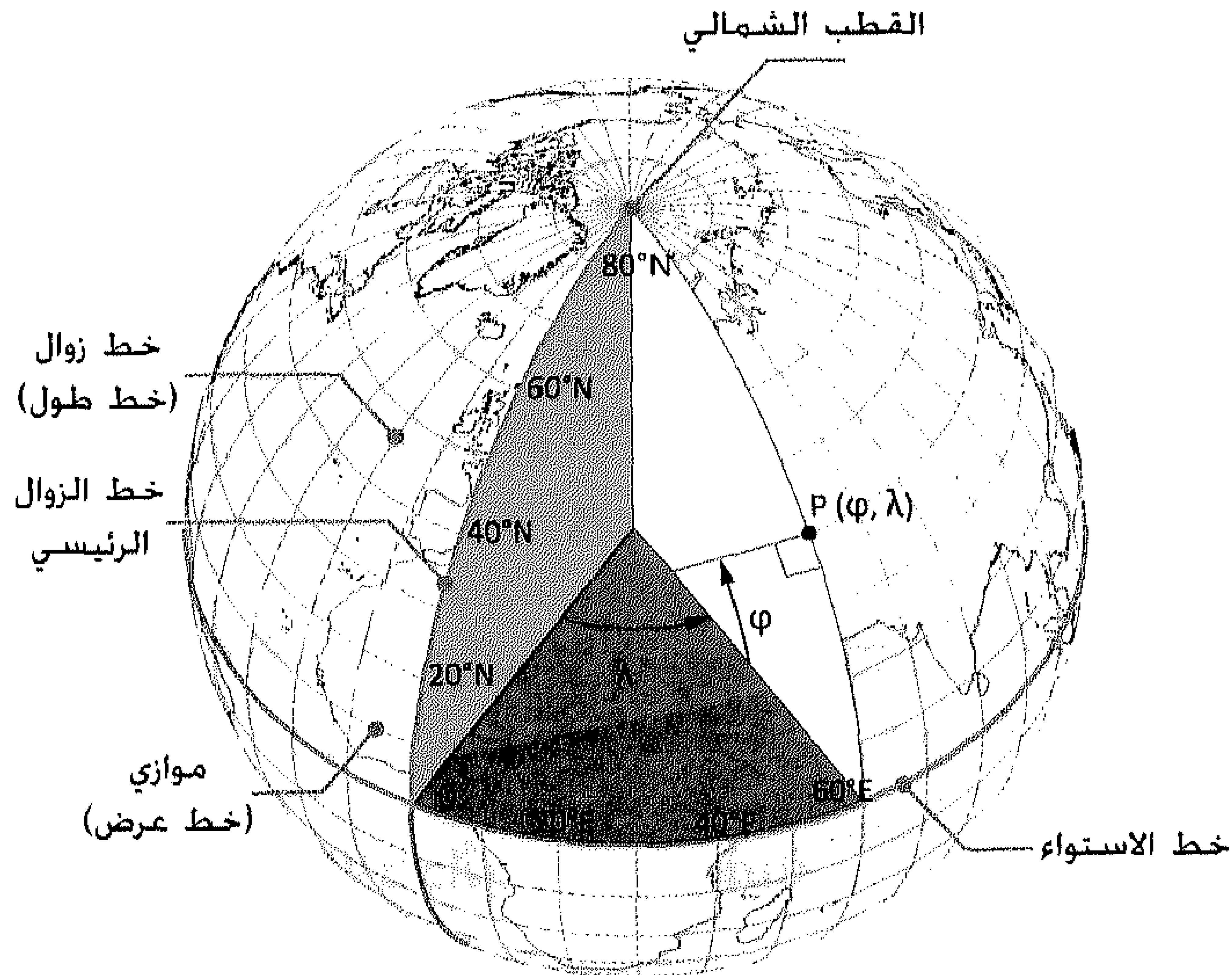
3.3.2. النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية

يتألف **النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية** (geographic coordinate reference system: GeogCRS) من نظام إحداثيات جيوديسية ومرجع جيوديسي.



الشكل 3-10 النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية

ينتج من تقاطع سطح المجسّم الإهليلجي ومستو عمودي على قطبيه (أي مواز لمستويه الاستوائي) خط على سطح المجسّم الإهليلجي يسمى **الموازي** (parallel). الموازيات دوائر متوازية غير متساوية فيما بينها، أكبرها **دائرة الاستواء** (Equator) التي تقع في منتصف المسافة بين قطبي المجسّم الإهليلجي. يُحدَّد الموازي بالزاوية φ بينه وبين دائرة أو خط الاستواء، تسمى هذه القيمة **العرض** (latitude)، ولذلك تسمى الموازيات **خطوط العرض** (lines of latitude) أيضاً. يقيس خط العرض مدى قرب نقطة إلى القطبين أو خط الاستواء على طول خط الطول، ويعبر عنه **بالدرجات** (degrees) بين 90- درجة جنوباً و 90+ درجة شمالاً، حيث الدرجة 0 زاوية خط الاستواء.



الشكل 3-11 النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية

تصل **خطوط الزوال** (meridians) في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية بين القطبين الشمالي والجنوبي على سطح المجسّم الإهليلجي، وتنتج هذه الخطوط عن تقاطع سطح المجسّم الإهليلجي مع مستوٍ مارٍ من قطبيه يسمى مستوي الزوال. يسمى أحد هذه الخطوط **خط الزوال الرئيسي** (Prime Meridian) ويُعدّ مبدأ لخطوط الزوال الأخرى. يُحدَّد خط الزوال لنقطة بالزاوية λ بين خط زوالها وبين خط الزوال الرئيسي، وتقاس بالدرجات بين 180- درجة غرباً و 180+ درجة شرقاً، حيث الدرجة 0 خط الزوال الرئيسي. تسمى هذه القيمة **الطول** (longitude)، ولذلك تسمى خطوط الزوال **خطوط الطول** (lines of longitude) أيضاً.

وبما أن خط الزوال الرئيسي ليس ظاهرة طبيعية مثل خط الاستواء، إذاً لا يمكن تحديده إلا من خلال الاتفاق بين الجهات والدول، وقد اصطلح على أن يكون خط الزوال المار قرب المرصد الملكي في غرينيتش خط الزوال الرئيسي. لكن هذا الاتفاق ليس شاملاً، فخط زوال باريس مثلاً ما زال خط الزوال الرئيسي في بعض البلدان حتى يومنا هذا.

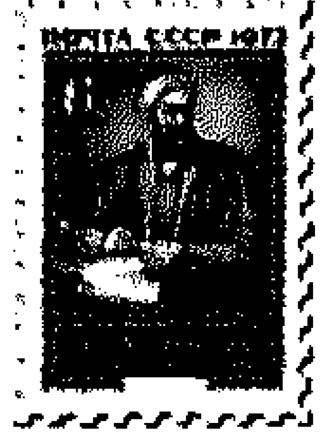


يشرح ابن خرداذبة في كتاب المسالك والممالك النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية كما يلي:

"والأرض مقسومة بنصفين بينهما خط الاستواء وهو من المشرق إلى المغرب وهذا طول الأرض وهو أكبر خط في كرّة الأرض كما أن منطقة البروج أكبر خط في الفلك وعرض الأرض من القطب الجنوبيّ الذي يدور حوله سهيل إلى القطب الشماليّ الذي يدور حوله بنات نعش، فاستدارة الأرض في موضع خط الاستواء ثلاثمائة وستون درجة ".

أدخلت تعديلات على خط الزوال الرئيسي عدة مرات لضبط موقعه، ونتيجة لذلك لم يعد خط الزوال اليوم ينطبق مع العلامة المثبتة في المرصد الملكي في غرينيتش، بل يبعد عنها مسافة 102 متر إذا قيس على ذات خط العرض، ويسمى خط الزوال المرجعي الدولي (انظر 3.3.4 النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي).

تتقاطع خطوط العرض والطول في شبكة تسمى **شبكة خطوط العرض والطول** (graticule)، مبدؤها النقطة (0,0) حيث يتقاطع خطا الاستواء والزوال الرئيسي وهي مبدأ الشبكة.



يمر خط الزوال الرئيسي الذي استخدمه بطلميوس (Ptolemy) في الجزر الخالدات (Fortunate Isles) وهي منطقة في المحيط الأطلسي يعتقد بأنها جزر الكناري (Canary Islands) أو الرأس الأخضر (Cape Verde) الخ، نظراً للاعتقاد السائد بأن الجزر الخالدات تقع في نهاية العالم من جهة الغرب، ولأهمية تلك الجزر في الميثولوجيا الإغريقية أيضاً.

وقد شاع استخدام خط الزوال الرئيسي هذا في العصور الوسطى، واستخدمه الجغرافيون العرب، ولذلك يمكنك أن تصادف في كتب هؤلاء الجغرافيين قيماً لزوايا طول المدن والأماكن لا تتطابق مع خطوط الطول المعتمدة على خط زوال غرينيتش. طول مكة المكرمة مثلاً باعتماد خط زوال الجزر الخالدات هو 67 درجة، بدلاً من 39 درجة و49 دقيقة.

في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية يطلق على زوايا العرض والطول صفة **جيوديسية أو إهليلجية** (geodetic or ellipsoidal)، وعلى الرغم من إمكانية تحديد موقع أي نقطة بزاويتي عرضها وطولها، تختلف قيمة المسافة بين هاتين الزاويتين اختلافاً كبيراً، فدوائر الطول تمر بالقطبين دائماً فهي **دوائر عظمى** (great circles) في جميع الاتجاهات، بينما تتضاءل دوائر العرض (باستثناء دائرة الاستواء) باتجاه القطبين حتى تصبح نقطة واحدة هي نقطة القطب.

خط العرض	مسافة الدرجة (كم)
60	55.65
45	78.7
30	96.39
0	111.3

الجدول 3-4 المسافة المقابلة لدرجة واحدة حسب خط العرض

تقاس زاويتي العرض والطول **بالدرجة** (degree: deg) أو **الغراد** (grad, gon) أو **الراديان** (radian: rad)، حيث رموز وحدات القياس هذه في قاعدة بيانات EPSG هي 9102 و9105 و9110 في قاعدة بيانات EPSG، لكن استخدام الدرجة أكثر شيوعاً.

تتألف الدرجة من 60 **دقيقة قوسية** (arc-minute: min) ورمزها 9103، وتتألف الدقيقة من 60 **ثانية قوسية** (arc-second: sec) ورمزها 9104.

تُمثّل الدرجة بطرق كثيرة، منها **الدرجة العَشْرية** (decimal degree: DD) وهي الشكل الأصلي للدرجة، ومنها **الدرجة الدقيقة الثانية** (degree minute second: DMS)، ويمكن أن يضاف إلى الصيغتين الأخيرتين أحد الحروف (N, S, E, W) للدلالة على نصف الكرة الأرضية.

الجدول التالي يبين إحداثيات باحة الجامع الأموي في دمشق باستخدام طرق قياسية مختلفة لتمثيل الزاوية:

طريقة التمثيل	رمز EPSG	العرض	الطول
الدرجة **(degree)**	9102	+33.511591	+36.306608
الدرجة نصف الكرة **(degree hemisphere)**	9116	33.511591N	36.306608E
نصف الكرة الدرجة **(hemisphere degree)**	9117	N33.511591	E36.306608
الدرجة الدقيقة **(degree minute)**	9115	+33°30.695'	+36°18.396'
الدرجة الدقيقة نصف الكرة **(degree minute hemisphere)**	9118	33°30.695'N	36°18.396'E
نصف الكرة الدرجة الدقيقة **(hemisphere degree minute)**	9119	N33°30.695'	E36°18.396'
الدرجة الدقيقة الستونية **(sexagesimal DM)**	9111	+33.30695	+36.18396
الدرجة الدقيقة الثانية **(degree minute second)**	9107	+33°30'41.73"	+36°18'23.79"
الدرجة الدقيقة الثانية نصف الكرة **(degree minute second hemisphere)**	9108	33°30'41.73"N	36°18'23.79"E
نصف الكرة الدرجة الدقيقة الثانية **(hemisphere degree minute second)**	9120	N33°30'41.73"	E36°18'23.79"
الدرجة الدقيقة الثانية الستونية **(sexagesimal DMS)**	9110	+33.304173	+36.182379
الدرجة الدقيقة الثانية أجزاء الثانية الستونية **(sexagesimal DMS.s)**	9121	+333041.73	+361823.79

الجدول 3-5 إحداثيات باحة الجامع الأموي في دمشق بالطرق القياسية لتمثيل الدرجة

يمكن تحويل الزوايا بين الدرجة والغراد والراديان كما يلي:

$$deg = rad\left(\frac{180}{\pi}\right)$$

$$rad = deg\left(\frac{\pi}{180}\right)$$

$$\frac{\text{deg}}{360} = \frac{\text{gon}}{400}$$

كما يمكن تغيير وحدة قياس الزوايا بين الدرجة العَشْرية والدرجة الدقيقة الثانية باستخدام المعادلة التالية:

$$decimal\ degree = deg + \frac{min}{60} + \frac{sec}{3600}$$

ثمة علاقة وثيقة بين **ضبط** (precision) الدرجة أي عدد المنازل العَشْرية فيها والدقة الموقعية للإحداثيات، وكلما ازداد الضبط ازدادت الدقة، والعكس بالعكس. ولذلك عندما يتطلب العمل دقة موقعية ما علينا أن نقوم بتخزين الإحداثيات في المستوى الملائم من الضبط.

يبين الجدول التالي قيم **عدم التيقن** (uncertainty) بالمتر المناظرة لمستويات مختلفة من الضبط في خطوط عرض مختلفة حيث يختلف تأثير الضبط في الدقة باختلاف عرض المكان (Wieczorek, et al., 2004):

الضبط	عدم التيقن (متر) عند خط الاستواء	عند خط العرض 30 درجة	عند خط العرض 60 درجة	عند خط العرض 85 درجة
1.0 درجة	156904	146962	124605	112109
0.1 درجة	15691	14697	12461	11211
0.01 درجة	1570	1470	1247	1122
0.001 درجة	157	147	125	113
0.0001 درجة	16	15	13	12
0.00001 درجة	2	2	2	2

الجدول 3-6 عدم التيقّن حسب ضبط الإحداثيات (المرجع الجيوديسي **WGS 84**)



تتوفر مجموعة من الأدوات الفورية للتحويل بين الدرجة العشرية والدرجة الدقيقة الثانية، منها الأداة المتوفرة على موقع Federal Communications Commission:

http://transition.fcc.gov/mb/audio/bickel/DDDMMSS-decimal.html

الترتيب القياسي للإحداثيات هو زاوية خط العرض تليها زاوية خط الطول ثم الارتفاع إن وجد، لكن بعض التطبيقات وهيئات (formats) البيانات تستخدم ترتيباً غير قياسي ما يمكن أن يؤدي إلى إظهار البيانات المكانية في موقع بعيد جداً عن موقعها الأصلي، ولذلك على مستخدمي نظام المعلومات الجغرافية مراجعة الوثائق ذات الصلة بهذه التطبيقات أو البيانات المكانية.

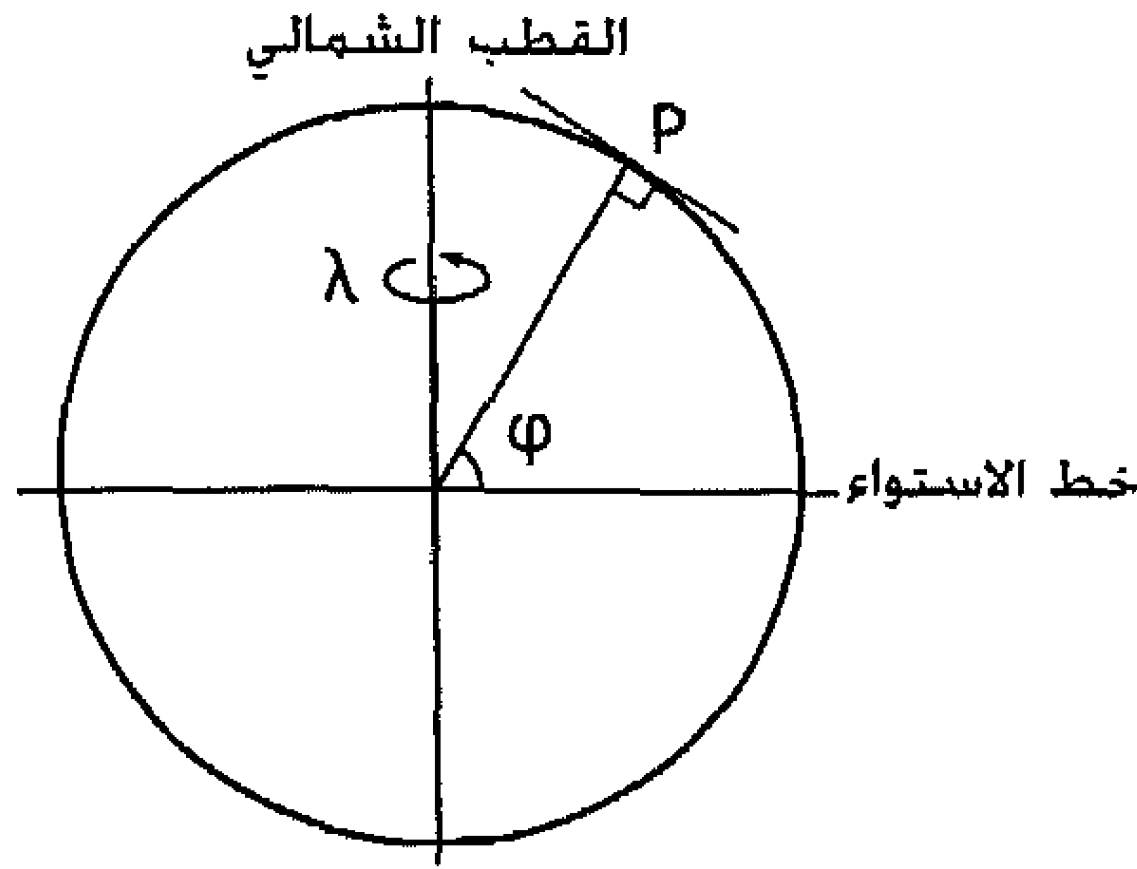


استخدم العرب نظام الحروف لكتابة الإحداثيات الجغرافية بدلاً من الأرقام، ويعرف هذا النظام بحساب الجُمّل ويمثِّل فيه كل حرف من حروف الأبجدية رقماً، وبالتالي يمكن كتابة أي رقم بتشكيل مجموعة من الحروف تساوي قيمتها قيمة ذلك الرقم في كلمة واحدة. الزاوية 79 يمكن كتابتها "عط"، والزاوية 133 تُكتب "قلج"، وهكذا. ويبين الجدول التالي الحروف العربية وقيمتها بحساب الجمّل:

الحرف	القيمة	الحرف	القيمة	الحرف	القيمة	الحرف	القيمة
أ	1	ح	8	س	60	ت	400
ب	2	ط	9	ع	70	ث	500
ج	3	ي	10	ف	80	خ	600
د	4	ك	20	ص	90	ذ	700
هـ	5	ل	30	ق	100	ض	800
و	6	م	40	ر	200	ظ	900
ز	7	ن	50	ش	300	غ	1000

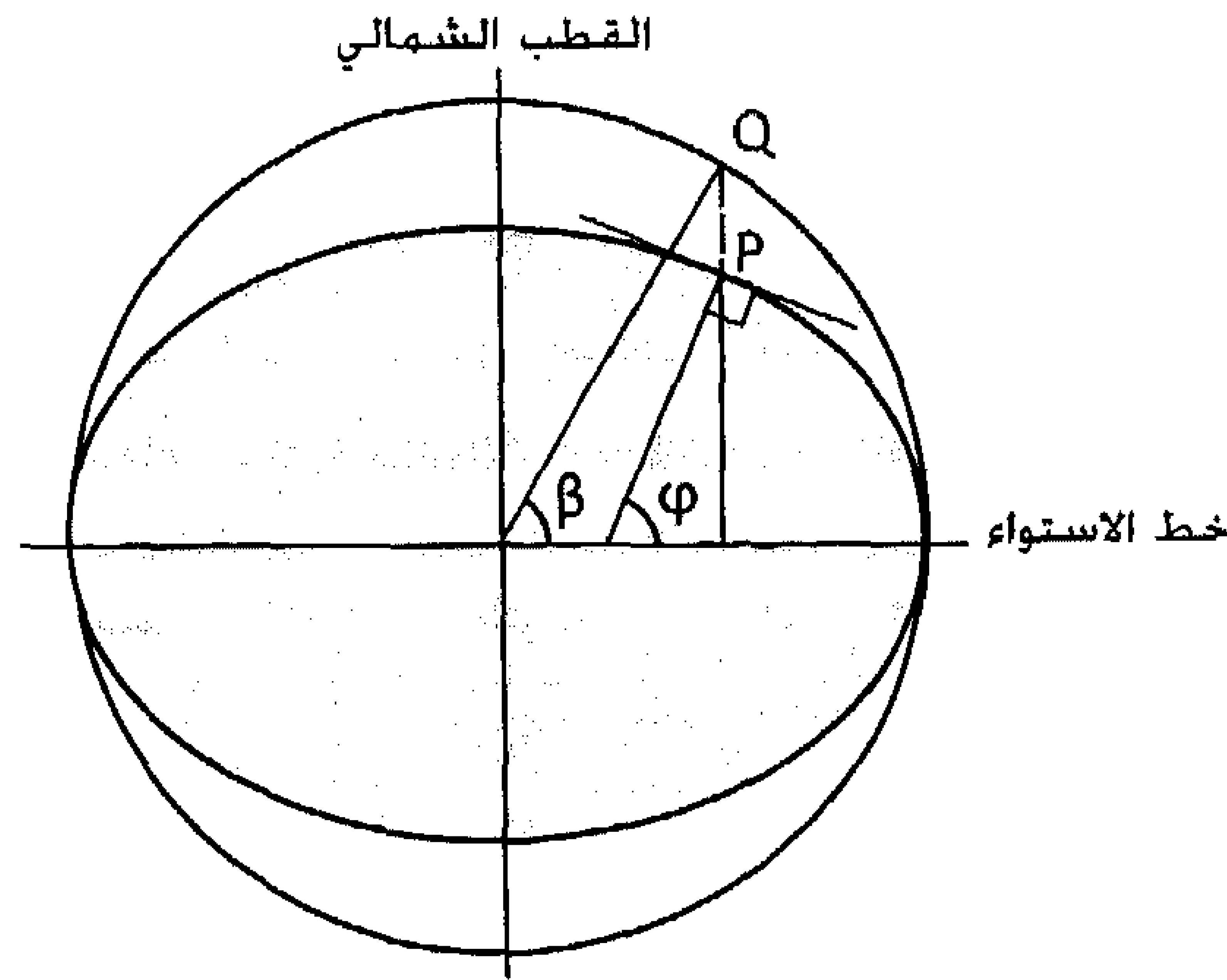
الجدول 3-7 حساب الجُمّل

يُستخدم النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية مع الكرة بصورة مشابهة للمجسّم الإهليلجي، ويختلفان فقط في طريقة حساب زاوية العرض φ، حيث تحسب بين المستوي الاستوائي وخط يصل النقطة بمركز الكرة دائماً، لأن جميع النواظم على سطح الكرة تمر من مركزها.



الشكل 3-12 نظام الإحداثيات الجغرافية المرجعي مع الكرة

تعرف زاوية العرض المختصرة (reduced latitude: β) بأنها الزاوية المرسومة من مركز المجسّم الإهليلجي إلى النقطة Q على الكرة المحيطة بالمجسّم الإهليلجي والتي هي إسقاط النقطة P على طول خط مواز لمحور الأرض كما في الشكل:



الشكل 3-13 زاوية العرض المختصرة

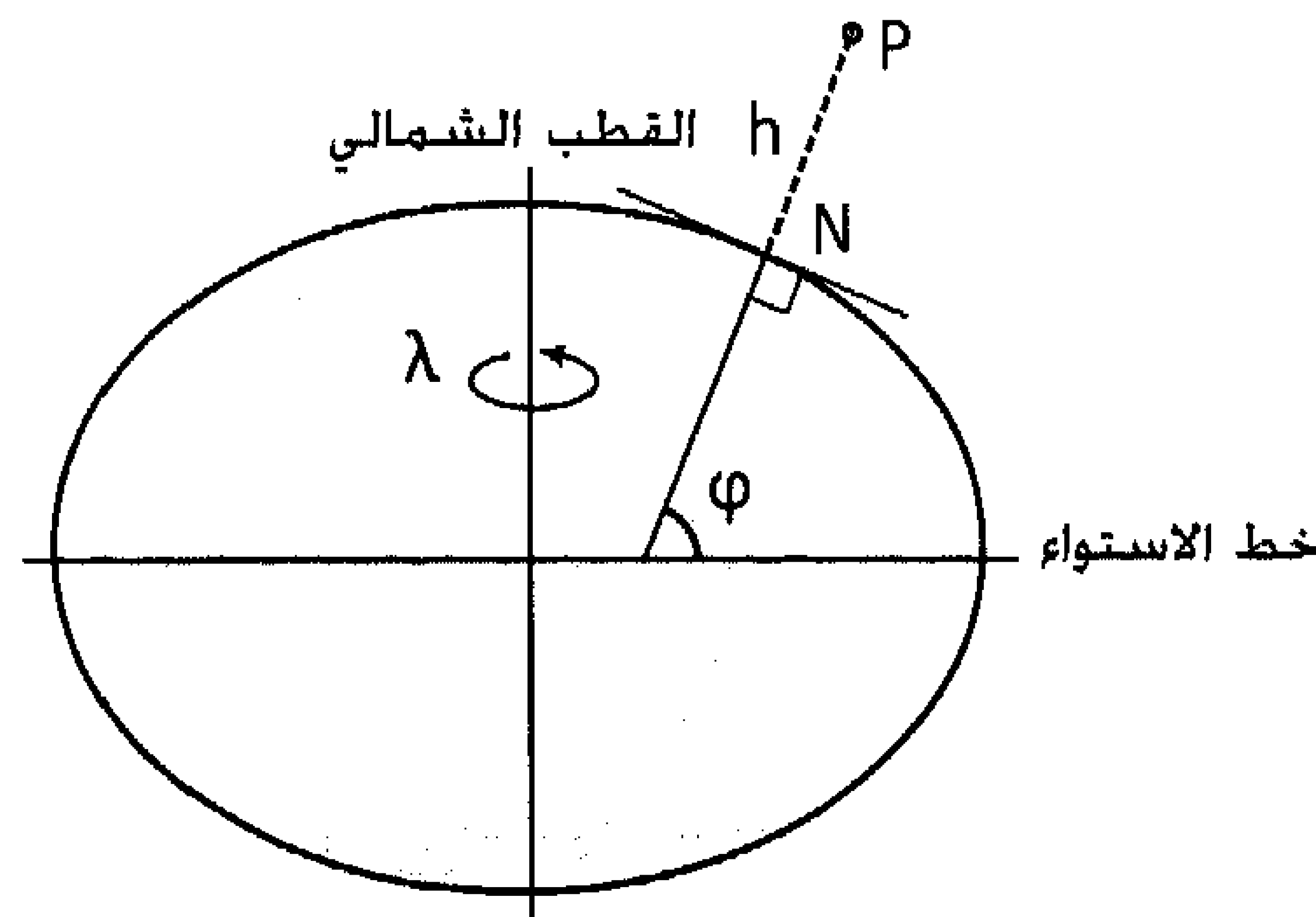
يشار إلى النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية في النص المعروف (WKT) اختصاراً بـ GEOGCS، ويوضح المثال التالي النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية المسمى عين العبد والمستخدم في البحرين والكويت والمملكة العربية السعودية. هذا النظام المرجعي مبني على مرجع جيوديسي اسمه عين العبد 1970 يعتمد على المجسّم الإهليلجي International 1924:

```
GEOGCS["Ain el Abd",
  DATUM["Ain_el_Abd_1970",
    SPHEROID["International 1924",6378388,297,
      AUTHORITY["EPSG","7022"]],
    AUTHORITY["EPSG","6204"]],
  PRIMEM["Greenwich",0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
  UNIT["degree",0.01745329251994328,
    AUTHORITY["EPSG","9122"]],
  AUTHORITY["EPSG","4204"]]
```

لاحظ أن نظام الإحداثيات المرجعي هذا ليس مبنياً على المرجع الجيوديسي WGS 84، وبالتالي لا يمكن استخدام قياسات GPS معه إلا بعد تحويلها.

3.3.2.1. النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد

يمكن أن يكون النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ثنائي أو ثلاثي الأبعاد. يستخدم النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد عندما توصف مواقع المعالم على سطح المجسّم الإهليلجي من خلال إحداثيات العرض والطول فقط، لكن المواقع على السطح الطوبوغرافي للأرض هي في معظم الأحيان فوق وأحياناً تحت سطح المجسّم الإهليلجي، ولذلك يستخدم النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد لوصف هذه المواقع فوق أو تحت سطح المجسّم الإهليلجي بإضافة الارتفاع الإهليلجي إلى إحداثيات العرض والطول.

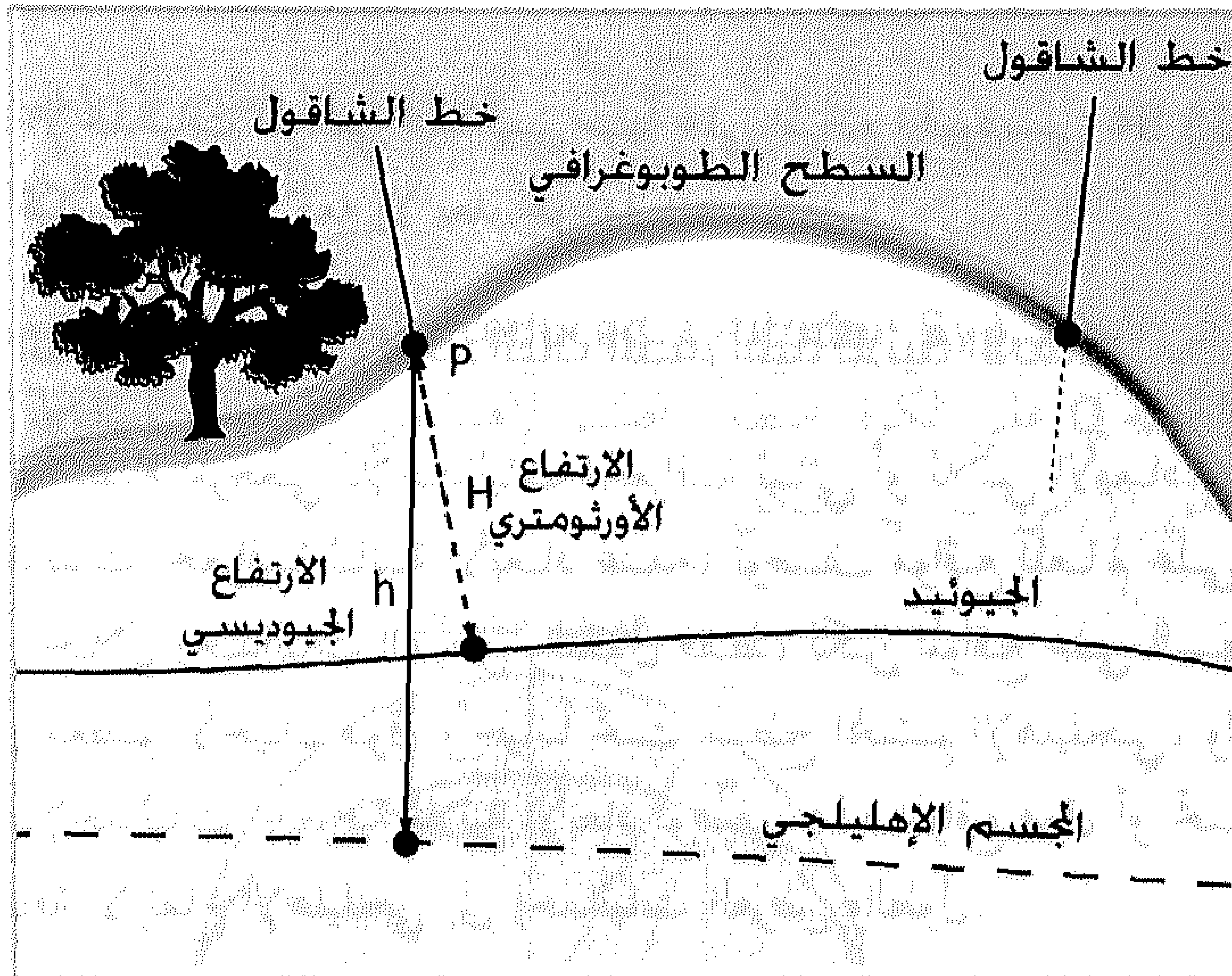


الشكل 3-14 الارتفاع الجيوديسي

يعرّف **الارتفاع الجيوديسي** أو **الارتفاع الإهليلجي** (geodetic height or ellipsoidal height) أو **الارتفاع فوق المجسّم الإهليلجي** (height above ellipsoid: HAE) لنقطة P

بطول القطعة PN على طول **الناظم** (normal) أي العمودي على سطح المجسّم الإهليلجي من النقطة P وهو يتقاطع مع سطح المجسّم في النقطة N.

يختلف الارتفاع الجيوديسي عن **الارتفاع الأورثومتري** (orthometric height) للنقطة؛ فالارتفاع الأورثومتري يكون فوق سطح الجيوئيد أو متوسط منسوب البحر على طول خط الشاقول المار بالنقطة، ويسمى أيضاً **الارتفاع المعتمد على الجاذبية** (gravity-related height) في قاعدة بيانات EPSG.



الشكل 3-15 الفرق بين الارتفاع الجيوديسي (الإهليلجي) والارتفاع الأورثومتري (المعتمد على الجاذبية)

إن المسافة المقيسة فوق أو تحت المجسّم الإهليلجي لا يمكن عدّها ارتفاعاً أو عمقاً، فهي غير ذات معنى، ويمكن أن نجد في مكان ما من سطح الأرض نقطتان آ و ب، بحيث يكون الارتفاع الإهليلجي لـ آ أكبر من ب، في حين يكون الارتفاع الأورثومتري (وهو الارتفاع الحقيقي) لـ ب أكبر من آ.

من الجدير بالذكر أن الارتفاعات في نظام تحديد المواقع العالمي GPS ارتفاعات إهليلجية منسوبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 وليست مقيسة على متوسط منسوب البحر أو سطح الجيوئيد، وبالتالي لا يمكن استخدامها في تطبيقات الخرائط العامة، لأن الارتفاعات في معظم الأعمال الإنشائية والمساحية وتطبيقات الخرائط هي ارتفاعات أورثومترية.

يختلف كذلك اتجاه الناظم PN على سطح المجسّم الإهليلجي أيضاً عن اتجاه خط الشاقول أي

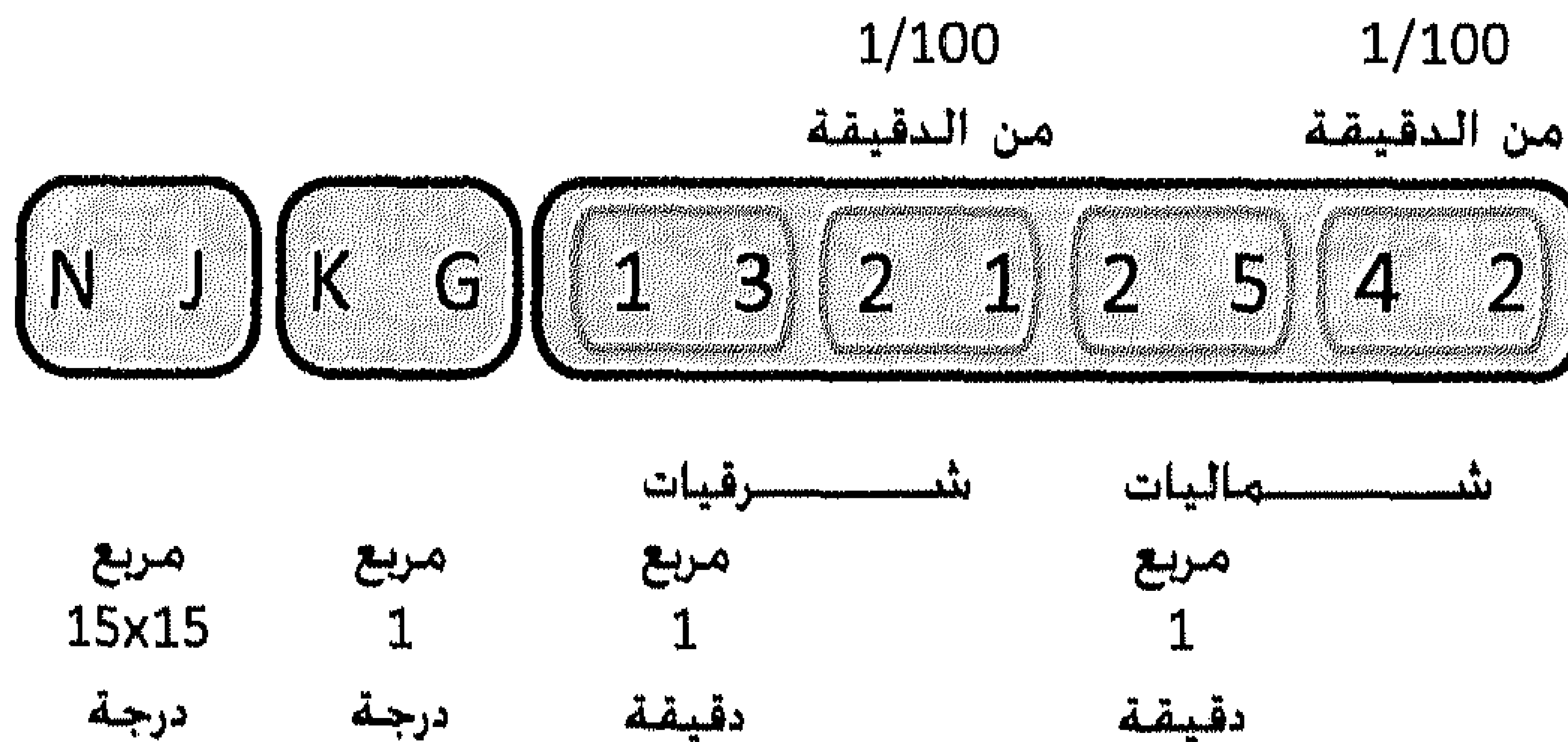
الناظم على سطح الجيوئيد، ويكوّنان زاوية تدعى **انحراف الشاقول** أو **انحراف الرأسي** (deflection of vertical or vertical deflection: VD)، لأن الناظم على سطح المجسّم الإهليلجي ليس عمودياً على الجيوئيد مثل خط الشاقول. ويؤخذ انحراف الشاقول في الحسبان عند إجراء الأعمال المساحية، ويصل في الهيمالايا إلى 100 ثانية (أو 0.03 درجة).

3.3.2.2. GEOREF

النظام المرجعي الجغرافي العالمي (World Geographic Reference System: GEOREF) هو أحد تطبيقات النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية وليس نظاماً مرجعياً قائماً بذاته، ولذلك لا تأتي قاعدة بيانات EPSG على ذكره. GEOREF طريقة لتحديد المواقع على سطح الأرض بالاعتماد على شبكة خطوط طول وعرض النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية، ولكن باستخدام أسلوب ترميز أكثر بساطة ومرونة. استخدم هذا النظام في الملاحة الجوية، وبخاصة في التطبيقات العسكرية، ولكن يمكن الاستفادة منه وتطبيقه على أي خريطة تظهر فيها خطوط الطول والعرض.

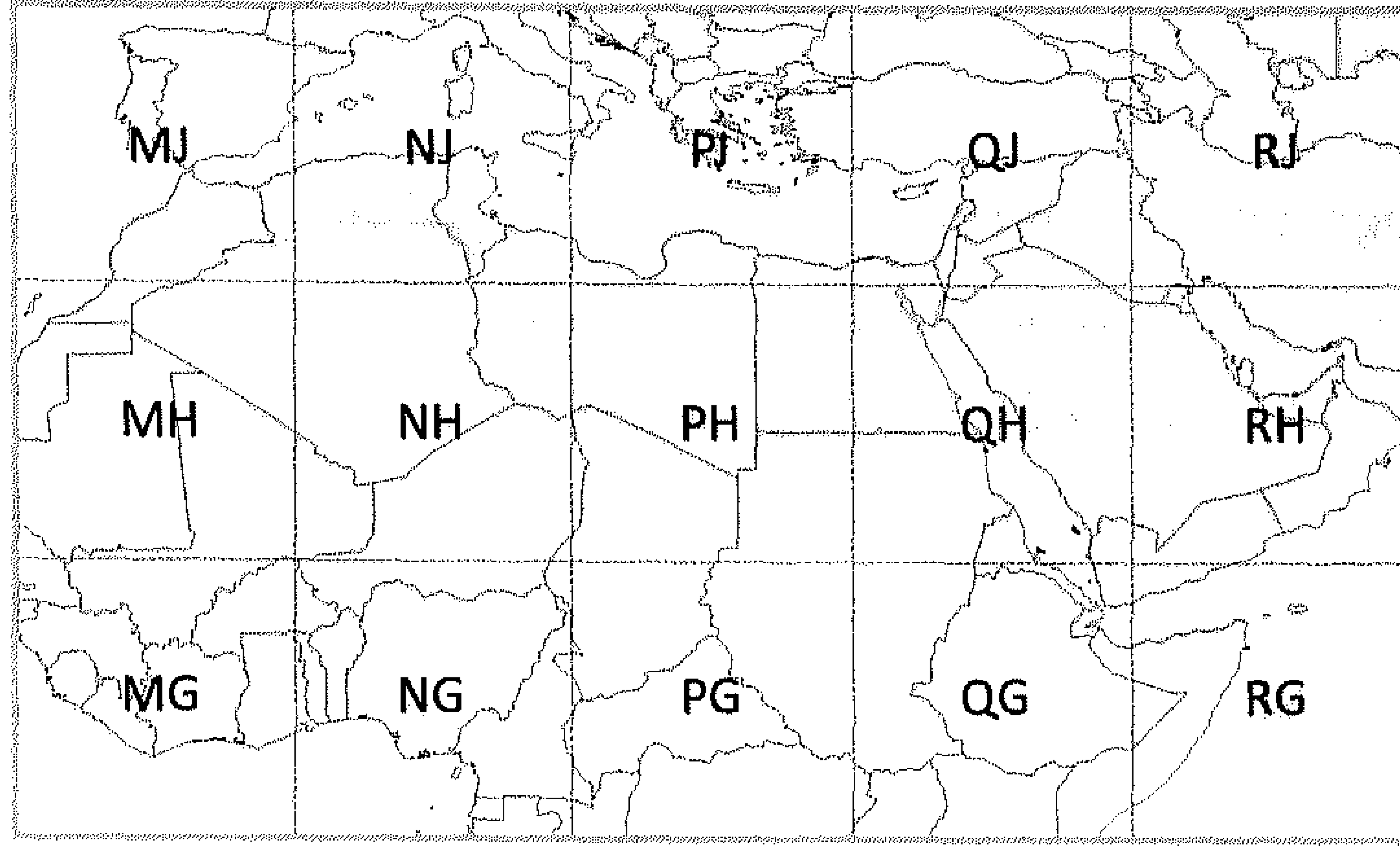
يُقسم سطح الأرض في GEOREF إلى مربعات، يمكن تقسيم كل مربع منها إلى مربعات أصغر، وهكذا، مع استخدام نظام لترقيم كل مربع في أي مستوى من مستويات التقسيم بالاعتماد على المربع الأب. يختلف GEOREF عن النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية في اتجاه التقسيم، فهو يعمل في اتجاه أفقي واحد يبدأ من خط الطول 180 درجة باتجاه الشرق، واتجاه عمودي واحد يبدأ من القطب الجنوبي باتجاه القطب الشمالي. ويمكن التعبير عن الإحداثيات في مستويات مختلفة من الدقة، وذلك بترميزها جغرافياً باستخدام مجموعة من الحروف والأرقام.

تتألف الإحداثيات في GEOREF من ثلاثة أجزاء:



الشكل 3-16 مكونات GEOREF

- في المستوى الأول من GEOREF يُقسم سطح الأرض إلى مربعات قياس كل منها 15 درجة من خطوط الطول و15 درجة من خطوط العرض، ينتج من هذا التقسيم 24 منطقة من خطوط الطول و12 نطاقاً من خطوط العرض. تُسمّى مناطق خطوط الطول باستخدام الحروف من A إلى Z ولا يستخدم الحرفان I وO منعاً للالتباس.

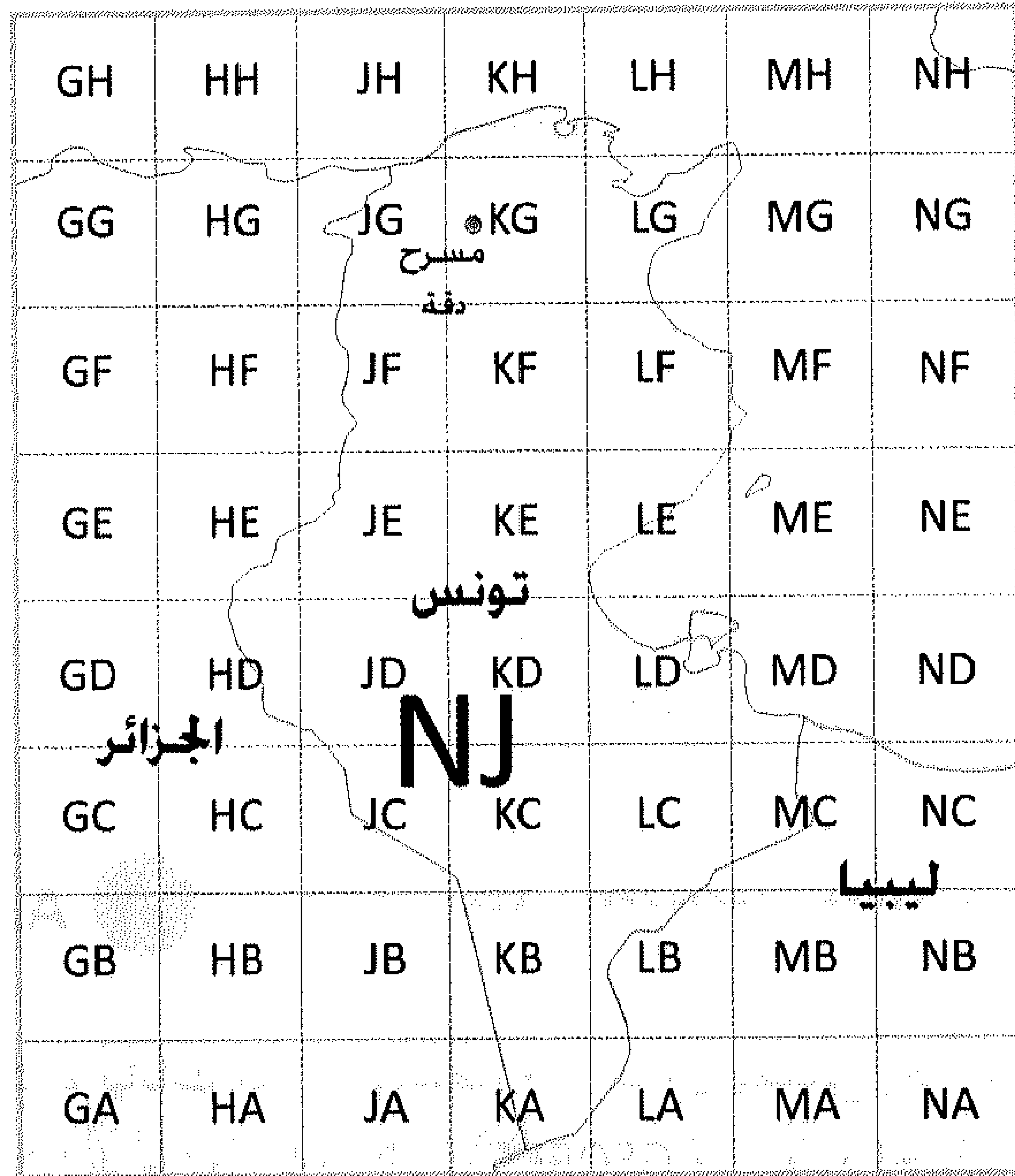


الشكل 3-17 المستوى الأول من GEOREF

تبدأ مناطق خطوط الطول من الدرجة 180 شرقاً، وتنتهي في الدرجة 180 غرباً. تُسمّى نطاقات خطوط العرض باستخدام الحروف من A إلى M ولا يستخدم الحرف I منعاً للالتباس. تبدأ نطاقات خطوط العرض من القطب الجنوبي (الدرجة 90 جنوباً) وتنتهي في القطب الشمالي (الدرجة 90 شمالاً). وبالتالي، يمكن تحديد أي مربع من مربعات الخمس عشرة درجة بواسطة حرفين؛ خط الطول أولاً يليه خط العرض. يشكل هذان الحرفان أول حرفين من إحداثيات GEOREF.

- في المستوى الثاني من GEOREF يُقسم كل مربع من مربعات المستوى الأول إلى مربعات أصغر قياس كل منها 1 درجة طولاً و1 درجة عرضاً. تُسمّى مربعات خطوط الطول من الغرب باتجاه الشرق باستخدام الحروف من A إلى Q ولا يستخدم الحرفان I و O منعاً للالتباس. وتُسمّى مربعات خطوط العرض من الجنوب باتجاه الشمال باستخدام الحروف من A إلى Q ولا يستخدم الحرفان I و O منعاً للالتباس. وبالتالي، يمكن تحديد أي مربع من مربعات المستوى الثاني بواسطة حرفين؛ خط الطول أولاً يليه خط العرض. يشكل هذان الحرفان ثالث ورابع حروف إحداثيات GEOREF.

يُقسم كل من مربعات المستوى الثاني إلى مربعات صغيرة قياس كل منها 1 دقيقة طولاً و1 دقيقة عرضاً. تُسمّى مناطق خطوط الطول من الغرب باتجاه الشرق باستخدام الأرقام من 00 إلى 59، ومناطق خطوط العرض من الجنوب باتجاه الشمال باستخدام الأرقام 00 إلى 59. تكتب هذه الأرقام باستخدام عددين دائماً مع إضافة صفر قبل الأعداد أقل من 10. تشكل الأرقام الأربعة (رقما خطوط الطول يليهما رقما خطوط العرض) مع الحروف الأربعة السابقة إحداثيات GEOREF بدقة 1 دقيقة.



الشكل 3-18 المستوى الثاني من GEOREF

- يمكن تقسيم مربعات المستوى الثالث إلى 10 أو 100 مربع أصغر بالطريقة ذاتها ما يسمح بتحديد المواقع بدقة تصل إلى 1/10 دقيقة باستخدام أربعة حروف وستة أرقام أو بدقة 1/100 دقيقة باستخدام أربعة حروف وثمانية أرقام.

على غرار GEOREF المبني على نظام الإحداثيات الجغرافية، ثمة نظام آخر شبيه ولكنه مبني على نظام الإحداثيات المسقطة UTM يسمى النظام المرجعي للشبكة العسكرية (MGRS) (انظر 4.10.3.1.3 النظام المرجعي للشبكة العسكرية).

مشروع:

يراد إيجاد إحداثيات GEOREF لمسرح دُقّة (Theatre of Dougga) في تونس بدقة 1/100 من الدقيقة، علماً بأن الإحداثيات الجغرافية لمنصة المسرح هي:

9°13'12.87"E
36°25'25.49"N

الحل:

حسب الخرائط السابقة، يقع المسرح في المربع NJKG، وبالتالي يمكن كتابة إحداثيات منصته في GEOREF بدقة 1/100 دقيقة كما يلي:

NJKG13212542

حيث:

$$12.87" / 60 = 0.2145$$
$$25.49" / 60 = 0.4248$$

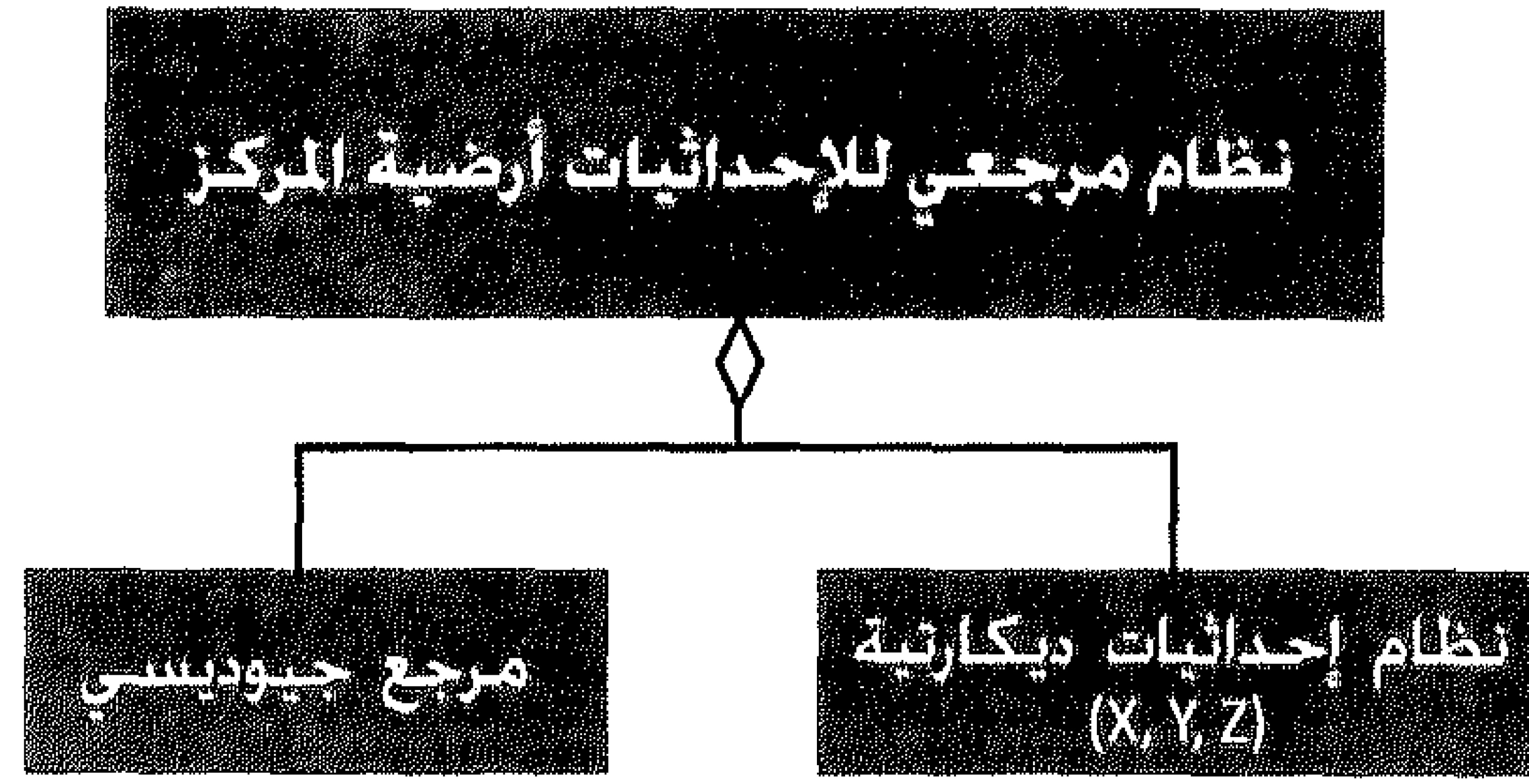


يمكن في ArcGIS إنشاء بيانات مكانية (نقاط) من جدول يتضمن إحداثيات نقاط منسوبة إلى نظام GEOREF (أو توليد جدول بإحداثيات GEOREF من نظام إحداثيات آخر) من خلال الأداة Convert Coordinate Notation في ArcToolbox:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Convert Coordinate Notation

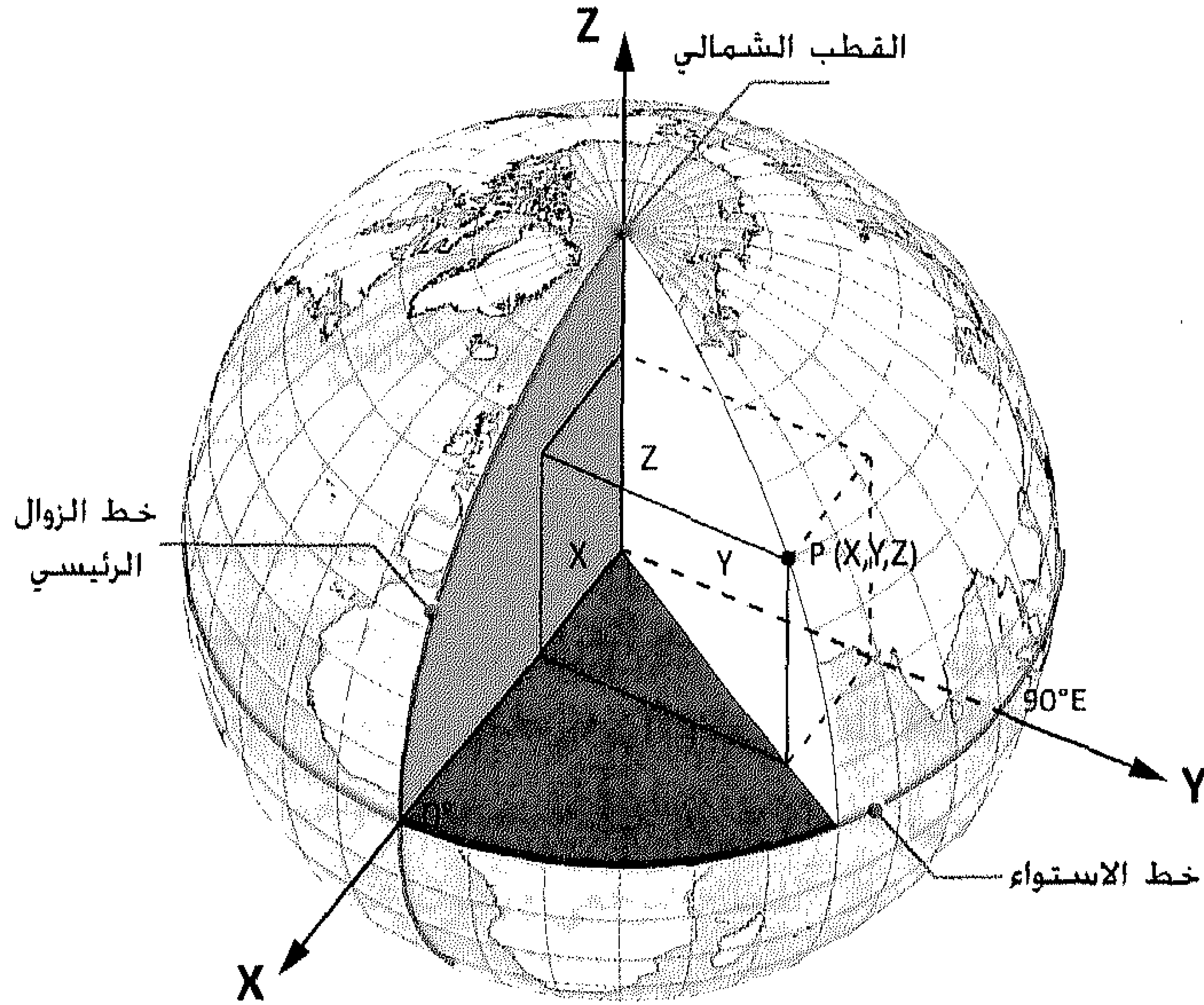
3.3.3. النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز

يعتمد **النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز** (geocentric coordinate reference system) على **نظام إحداثيات ديكارتية** (cartesian coordinate system) ذي ثلاثة محاور وعلى مرجع جيوديسي.



الشكل 3-19 النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز

ينطبق مبدأ الإحداثيات مع مركز المجسّم الإهليلجي، ويقع المحور X في مستوي الاستواء من المجسّم الإهليلجي ويمر عبر خط الزوال الرئيسي. يمر النصف السالب من المحور X في خط الطول 180 درجة. يقع المحور Y في خط الاستواء أيضاً ولكنه يمر من خط الطول 90 درجة شرق، ويشكل بالتالي زاوية قائمة مع المحور X، يعني ذلك أن النصف السالب من المحور Y يمر في خط الطول 90 درجة غرب.



الشكل 3-20 النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز

ينطبق المحور Z مع المحور القطبي للمجسّم الإهليلجي، ويمر النصف الموجب منه عبر القطب الشمالي، بينما يمر النصف السالب منه عبر القطب الجنوبي، ويشكل المحور Z زاوية قائمة مع كلا المحورين X وY.

الترتيب القياسي للإحداثيات في نظام الإحداثيات الديكارتية هو الإحداثي X يليه الإحداثي Y يليه الإحداثي Z.

يطلق على نظام الإحداثيات الديكارتية في بعض المصادر مصطلح **ثابت ومتمركز مع الأرض** (earth-centered, earth-fixed: ECEF)، حيث النقطة (0,0,0) مركز الأرض.

تأتي أهمية النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز من استخدامه نظاماً وسيطاً في تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية، وتقوم هذه الطرق بتحويل الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز أولاً وإجراء التحويل إلى المرجع الجيوديسي الهدف، ثم تحويل الإحداثيات أرضية المركز الناتجة من عملية التحويل إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى. كما أن النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز مستخدم في النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS).

يشار إلى النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز في النص المعروف (WKT) اختصاراً بـ GEOCCS، ويوضح المثال التالي النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز المسمى Yemen NGN96 والمستخدم في اليمن:

```
GEOCCS["Yemen NGN96",
  DATUM["Yemen National Geodetic Network 1996",
    SPHEROID["WGS 84",6378137.0,298.257223563,
      AUTHORITY["EPSG","7030"]],
    TOWGS84[0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0],
    AUTHORITY["EPSG","6163"]],
  PRIMEM["Greenwich",0.0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
  UNIT["m",1.0],
  AXIS["Geocentric X",OTHER],
  AXIS["Geocentric Y",EAST],
  AXIS["Geocentric Z",NORTH],
  AUTHORITY["EPSG","4980"]]
```

لاحظ أن المرجع الجيوديسي في هذا النظام والمسمى Yemen National Geodetic Network 1996 يعتمد المجسّم الإهليلجي WGS 84، وتوضح العبارة TOWGS84 وسطاء (parameters) الانتقال والدوران وتغيير الحجم اللازمة لتحويل الإحداثيات بينه وبين المرجع

الجيوديسي WGS 84 (انظر 5.2.1.2 طريقة Helmert)، وتشير قيم الوسطاء المذكورة إلى أنه يمكن استخدام قياسات GPS مع هذا النظام مباشرة بدون تحويل.

3.3.4. النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي (ITRF/ITRS)

يتغير محور دوران الأرض باستمرار وإن ببطء شديد، نتيجة لذلك يتغير نجم الشمال أيضاً بضعة سنتيمترات كل سنة. نجم الشمال في عصرنا الحالي هو **نجم الجُدَيّ** (Polaris, or Alpha Ursa Minor, or α UMi)، وهو يمثل طرف الذيل في كوكبة الدب الأصغر. في المستقبل ستنتقل هذه الوظيفة إلى نجوم أخرى أقرب إلى محور دوران الأرض لفترة طويلة جداً، قبل أن يعود الجُدَيّ ليصبح نجم الشمال مرة أخرى في العام 27800 م.

يتغير مركز كتلة الأرض أيضاً نتيجة لحركة الصفيحات القارية، وبما أن محور الأرض ومركز كتلتها يتغيران باستمرار فإن إحداثيات النقاط على سطحها تتغير، وإن كان هذا التغير طفيفاً، ما يعني أن الإحداثيات المسجلة لنقطة ما تصبح غير دقيقة مع مرور الزمن، إذا لم يسجل معها تاريخ قياسها.

وتتضاعف مشكلة تغيّر الإحداثيات هذه عندما تكون النقاط نقاطاً مرجعية يُنطلق منها لقياس إحداثيات نقاط أخرى، مثل نقاط الشبكة الجيوديسية (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية) أو المحطات المرجعية الأرضية لنظام GPS.

وللتغلب على مشكلة الأطر المرجعية الثابتة للإحداثيات التي لا تناسب الأعمال التي تتطلب دقة فائقة، ومن أجل جعل الإحداثيات مفيدة بغض النظر عن التاريخ الذي جمعت فيه ظهرت الحاجة إلى تطوير إطار إحداثيات مرجعي بصورة دورية، وربط الإحداثيات المقيسة عليه بوقت قياسها.

يتولّد **الإطار المرجعي الأرضي الدولي** (International Terrestrial Reference Frame: ITRF) باتباع الإجراءات التي يحدّدها **النظام المرجعي الأرضي الدولي** (International Terrestrial Reference System: ITRS) فالنظام المرجعي الأرضي الدولي هو الإجراءات القياسية التي يمكن من خلالها إنشاء الإطار؛ أي تحديد مركزه وحجمه وتوجيه محاوره، أما الإطار المرجعي الأرضي فهو التمثيل الفيزيائي للنظام المرجعي ويكون عبارة عن شبكة من النقاط المنصوبة على الأرض أو المحطات المرجعية الأرضية، ولذلك يوصف الإطار المرجعي بأنه **تحقيق** (realization) للنظام المرجعي.

تُقاس حركة الصفيحات القارّية من خلال قياس **سرعة** (velocity) واتجاه حركة محطات ITRF الأرضية المنتشرة في أنحاء العالم، ويتم تحديد وتحديث مواقع المحطات المرجعية الأرضية بصورة دورية باستخدام تقنيات الجيوديسيا الفضائية التالية:

- **تداخل خط الأساس الطويل جداً** (very long base-line interferometry: VLBI): إحدى تقنيات التداخل الراديوي المستخدمة في علم الفلك وتعتمد مراقبة كائن واحد من مجموعة من محطات المراقبة التي تفصل بينها مسافات كبيرة ومن ثم تجميع الإشارات المسجلة في مكان واحد ومعالجتها حاسوبياً. يمكن الوصول بهذه التقنية إلى قياسات دقيقة جداً لأن مجموعة محطات المراقبة تعمل وكأنها محطة مراقبة واحدة عملاقة.
- **سبر القمر بالليزر** (lunar laser ranging: LLR): تقنية لقياس المسافة بين الأرض والقمر باستخدام الليزر. يُوجه الليزر من الأرض على عواكس مزروعة على سطح القمر وتُحسب المسافة بناءً على الوقت الذي يحتاجه الضوء المنعكس للعودة.
- نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)
- **سبر الأقمار الاصطناعية بالليزر** (satellite laser ranging: SLR): تقنية تعتمد على قياس الوقت الذي تستغرقه نبضات فائقة القصر (ultra-short) من الضوء للوصول إلى عواكس مثبتة على الأقمار الاصطناعية، ما يوفر قياسات فورية دقيقة تصل دقتها إلى عدة ملّيمترات. تستخدم تقنية سبر الأقمار الاصطناعية بالليزر في تحديد موقع القمر الاصطناعي بالنسبة لمركز الأرض، كما تستخدم في الأبحاث العملية المختلفة.
- **رسم المدارات والتحديد الراديوي للمواقع بدوبلر المدمجة في القمر الاصطناعي** (Doppler orbitography and radiopositioning integrated by satellite: DORIS): نظام فرنسي لتحديد المواقع ومدارات الأقمار الاصطناعية بالاعتماد على ظاهرة دوبلر (عندما يرصد المشاهد الثابت التغير في الطول الموجي للموجات القادمة إليه من مصدر صوتي أو ضوئي يستطيع تحديد ما إذا كان الجسم يقترب أو يبتعد، ويسمى التغير الظاهري في التردد ظاهرة دوبلر أو تأثير دوبلر نسبة لدوبلر الذي اكتشف هذه الظاهرة في العام 1842).

عندما يتم تحقيق الإطار المرجعي الأرضي الدولي (ITRF) باتباع الإجراءات القياسية في النظام المرجعي الأرضي الدولي يُربط الإطار بالتاريخ الذي تم تحقيقه أي إنشاؤه فيه، ولذلك تحمل الأطر المرجعية أسماء مثل ITRF2000 وITRF2005، الخ. المرجع ITRF2008 هو آخر إصدارات النظام المرجعي الأرضي الدولي (كانون الثاني/يناير 2011)، ويستخدم الإجراءات ذاتها المتبعة في تشكيل ITRF2005، ولكنه أكثر دقة منه.

بالنسبة لمستخدمي التقنيات المكانية يمكن وصف الأطر ITRF بأنها أنظمة مرجعية للإحداثيات أرضية المركز مبنية على مراجع جيوديسية مختلفة تعتمد جميعها على المجسّم الإهليلجي GRS 1980

الذي أقره **الاتحاد العالمي للجيوديسيا والجيوفيزياء** (International Union of Geodesy and Geophysics: IUGG) العام 1979، والنص المعروف (WKT) أدناه يصف النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز ITRF2005 المبني على المرجع ITRF2005:

```
GEOCCS["ITRF2005",
  DATUM["International Terrestrial Reference Frame 2005",
    SPHEROID["GRS 1980",6378137.0,298.257222101,
      AUTHORITY["EPSG","7019"]],
    AUTHORITY["EPSG","6896"]],
  PRIMEM["Greenwich",0.0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
  UNIT["m",1.0],
  AXIS["Geocentric X",OTHER],
  AXIS["Geocentric Y",EAST],
  AXIS["Geocentric Z",NORTH],
  AUTHORITY["EPSG","4896"]]
```

يسمى خط الزوال في النظام المرجعي **خط الزوال المرجعي الدولي** (International Reference Meridian: IRM) أو خط زوال IERS المرجعي، كما يسمى القطب في النظام المرجعي **القطب المرجعي الدولي** (International Reference Pole: IRP) ويتم تحديده كل عدة سنوات نتيجة لتغير محور دوران الأرض من خلال القياسات الجيوديسية الدقيقة.

وبما أن المرجع الجيوديسي WGS 84 يستخدم مركز كتلة الأرض مبدأ للإحداثيات، وبما أن هذا المركز ليس موقعاً جغرافياً ثابتاً بل يتغير نتيجة لعوامل مختلفة منها حركة الصفيحات القارية، تم تعديل المرجع الجيوديسي WGS 84 عدة مرات بتحديث الإحداثيات القديمة لمحطات GPS الأرضية وتحويلها بالاعتماد على ITRF، ونتيجة لذلك يرتبط الآن المرجع الجيوديسي WGS 84 بالإطار المرجعي الأرضي الدولي (انظر3.3.1.3 المرجع الجيوديسي WGS 84).

تقوم هيئة "الخدمات الدولية لدوران الأرض والأنظمة المرجعية" (International Earth Rotation and Reference Systems Service: IERS) بصيانة حلول ITRS وITRF. وتوفر وسطاء (parameters) التحويل بين كل إطار جديد والأطر السابقة له (انظر 5.2 تحويل الإحداثيات و 5.2.1.2 طريقة Helmert).

توفر IERS معلومات ITRF في هيئة نصية تسمى SINEX يمكن الحصول عليها من موقعها على إنترنت. وتتضمن هذه المعلومات قائمة بالمحطات المرجعية الأرضية المستخدمة في الإطار وتبين لكل محطة إحداثياتها أرضية المركز (X, Y, Z) بالمتر، بالإضافة إلى سرعتها (DX, DY, DZ) بالمتر/السنة

نتيجة لحركة الصفيحات القارية، مع تقدير درجة الدقة في تلك القيم. وللحصول على إحداثيات إحدى هذه المحطات في أي وقت آخر يضاف إلى إحداثياتها المبينة في الإطار المسافة التي تقطعها نتيجة لسرعتها.



تتيح الأداة HTDP (Horizontal Time-Dependent Positioning) تحويل الإحداثيات عبر الزمن وبين الأطر المرجعية المكانية بالاعتماد على نماذج مختلفة لحركة القشرة الأرضية والدراسات الزلزالية في غربي الولايات المتحدة وبقية العالم. تتيح هذه الأداة للمستخدمين تنفيذ مهام رئيسية منها تقدير سرعة القشرة الأرضية الأفقية، وتقدير انزياح القشرة الأرضية بين تاريخين، وتحويل الإحداثيات بين إطارين مرجعيين (بما في ذلك جميع إصدارات ITRF وإصدارات WGS 84) أوبين تاريخين. تتوفر نسخة تنفيذية من الأداة يمكن تنزيلها من موقع NOAA بالإضافة إلى نسخة فورية على ويب:

http://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/Htdp/Htdp.shtml

يمكن الحصول على خدمات IERS من الرابط:

http://itrf.ensg.ign.fr

3.3.5. النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية في برامج نظام المعلومات الجغرافية

يتوفر في معظم برامج نظام المعلومات الجغرافية ونظام تحديد المواقع العالمي والمساحة مكتبة مبنية من الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية، وتقوم الشركات المطورة للبرمجيات بتضمين قاعدة البيانات هذه في برمجياتهم، كما تواظب على تحديثها مع إضافة أية أنظمة جديدة في قاعدة بيانات EPSG.

3.3.5.1. إعداد بيئة العمل

يعني إعداد بيئة العمل في ArcGIS وAutoCAD Map 3D إنشاء ملف خريطة (map file) جديد، وتعيين أحد الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية ليكون النظام المرجعي لملف الخريطة. بعد ذلك يمكن إضافة البيانات المكانية من مصادر مختلفة وسيقوم ArcGIS و AutoCAD Map

3D بتحويلها تلقائياً إلى نظام إحداثيات ملف الخريطة بحيث تتراكب بصورة صحيحة. لا تُدخَل أية تعديلات على إحداثيات البيانات الأصلية، لأن ArcGIS وAutoCAD Map يقومان بذلك **لحظياً** (on the fly) لأغراض العرض فقط. بالإضافة إلى ذلك، يعني إعداد بيئة العمل أن قيم الإحداثيات التي يدخلها المستخدم أثناء إنشاء بيانات مكانية جديدة في ملف الخريطة يتم تسجيلها حسب هذا النظام.

يمكن تعيين نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية لملف الخريطة بطريقة أخرى وذلك باستيراد بيانات مكانية تتضمن نظاماً مرجعياً للإحداثيات الجغرافية. بعد استيراد هذه البيانات المكانية يقوم ArcGIS وAutoCAD Map 3D بتعيين النظام المرجعي ذاته لإحداثياتها إلى ملف الخريطة تلقائياً. وإذا لم يكن النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية متوفراً في مكتبة البرنامج، يمكن للمستخدم أيضاً إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات الجغرافية في البرنامج الذي يستخدمه في الحالات التي تتطلب ذلك، وهي حالات نادرة جداً. إحدى التحديات التي ستواجه المستخدم عند إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات الجغرافية مهمة تعريف عمليات التحويل على البيانات المطلوبة بين هذا النظام الجديد والأنظمة الشائعة (انظر 5.2 تحويل الإحداثيات).

3.3.5.1.1. انتقاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية

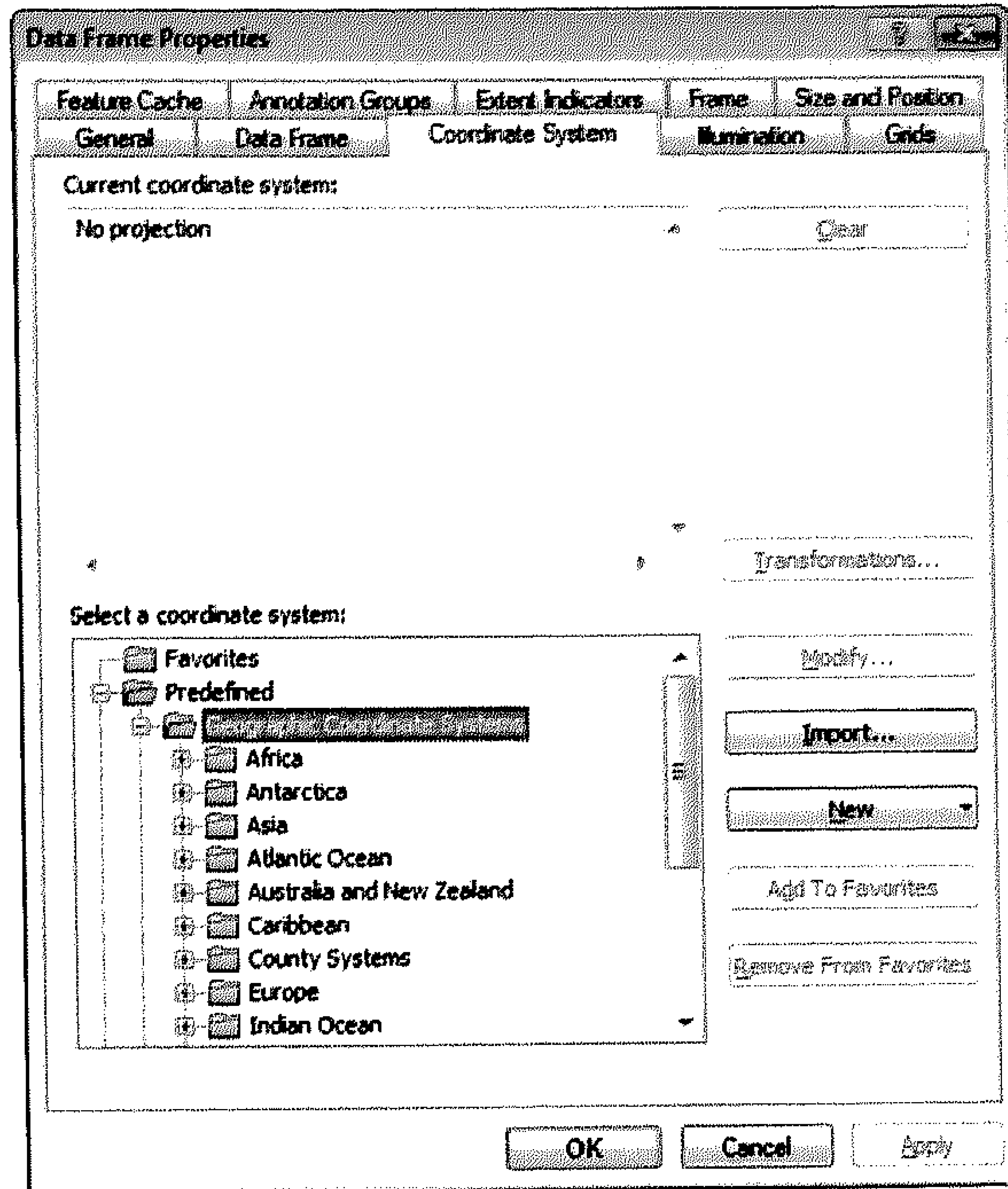
كما مر معنا سابقاً، لا يكفي معرفة قيمة الإحداثيات لتحديد موقع نقطة تحديداً دقيقاً وفريداً، إذ يتطلب استخدام البيانات المكانية معرفة نظام الإحداثيات المرجعي الذي قيست فيه هذه الإحداثيات (انظر 1.3.3 كيف نعبّر عن الإحداثيات).

لذلك يتطلب العمل في برامج وأنظمة المعلومات الجغرافية إعداد بيئة العمل فيها أولاً بتحديد نظام الإحداثيات المرجعي لملف الخريطة، ويكون ذلك بانتقاء نظام الإحداثيات من مكتبة الأنظمة المرجعية المتوفرة في البرنامج أو النظام الذي نعمل عليه. وعندما نقوم بإنشاء البيانات المكانية بإدخال إحداثياتها يقوم النظام بتوقيع هذه البيانات في مواقعها الصحيحة.



لإعداد بيئة العمل في ArcGIS يمكن انتقاء نظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية من خلال مربع حوار خصائص إطار البيانات:

View > Data Frame Properties... > Coordinate System



الشكل 3-21 صندوق حوار خصائص إطار البيانات في ArcGIS

في القسم Select a coordinate system انتق Predefined ثم Geographic Coordinate Systems، ثم انتقل إلى المجموعة التي تتضمن النظام المرجعي الذي تنوي استخدامه وقم بانتقائه.

AutoCAD® Map 3D

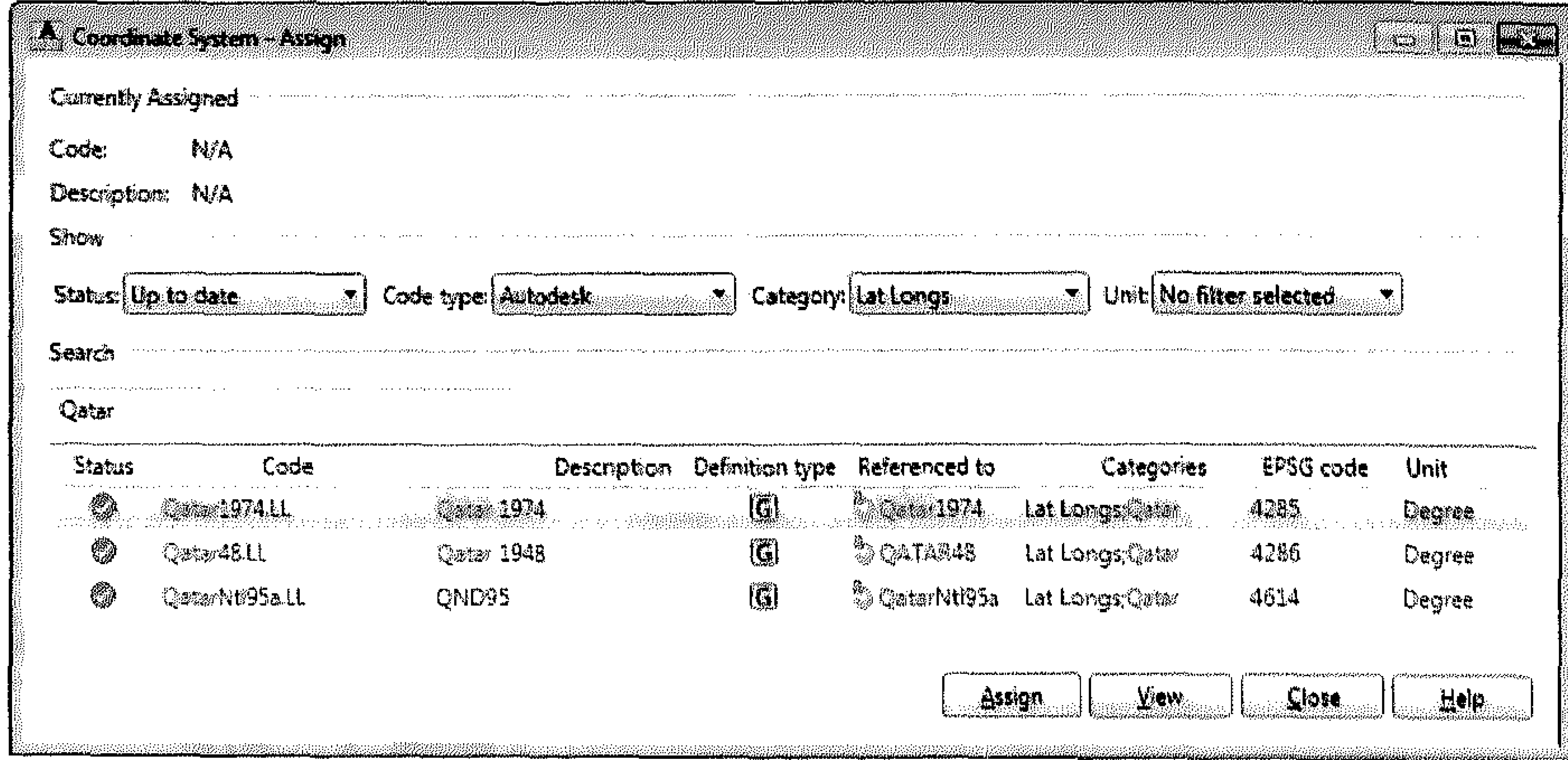
يعني إعداد بيئة العمل في AutoCAD Map 3D إنشاء **ملف خريطة** (map file) جديد، وهو **ملف رسم** (drawing file) يُنشأ بالاعتماد على أحد قوالب الخريطة المتوفرة في البرنامج. يُعيّن نظام الإحداثيات المرجعي لملف الخريطة الحالي باستخدام الأمر Assign Global Coordinate System:

Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Assign
Command: MAPCSASSIGN

في مربع الحوار Assign - Coordinate System يمكن انتقاء نظام الإحداثيات من مكتبة الأنظمة المرجعية في AutoCAD Map 3D كما يمكن استخدام **المرشّحات** (filters) وإدخال

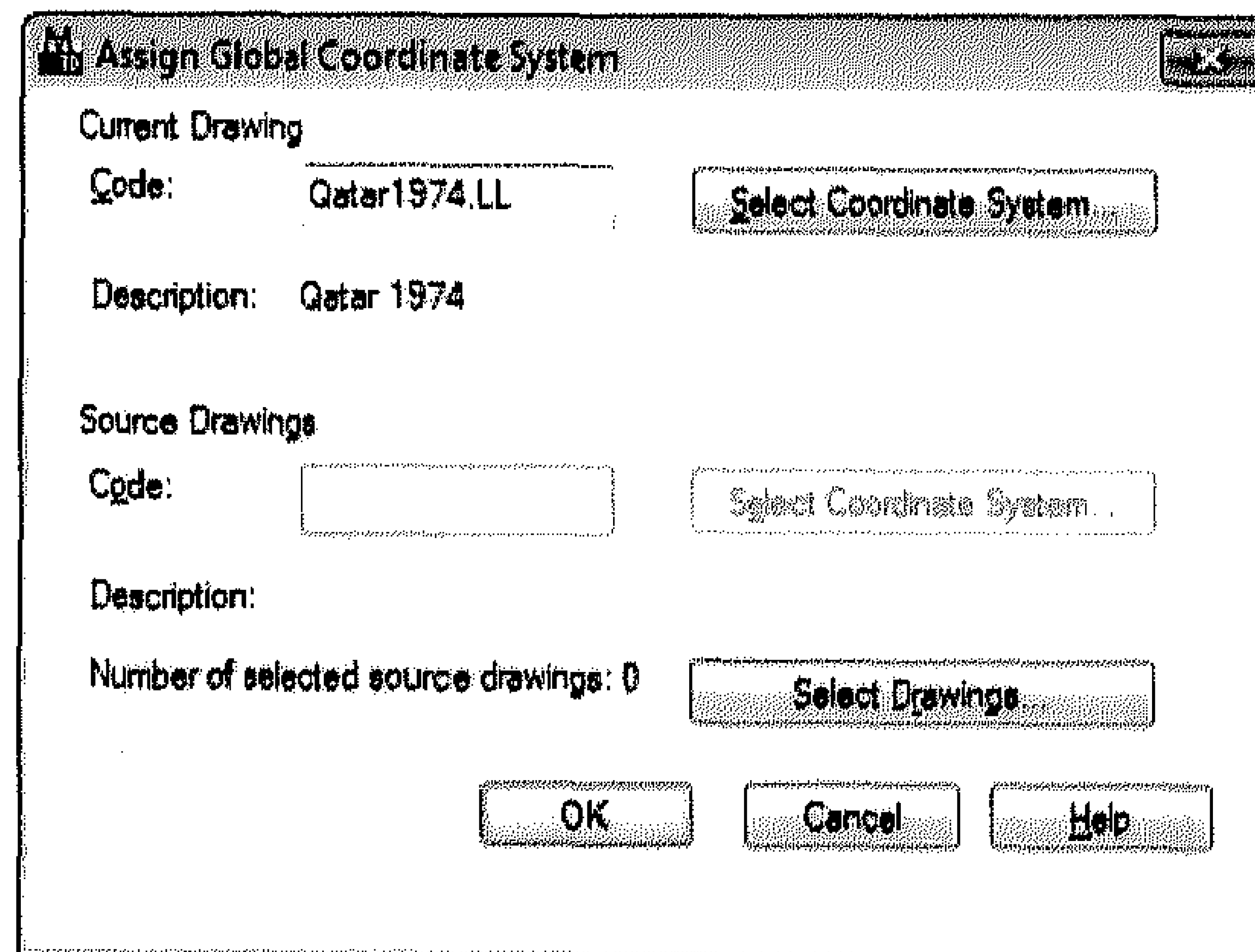
جزء من اسم نظام الإحداثيات الجغرافية لترشيح عدد الأنظمة المرجعية التي تظهر في المكتبة.

المثال التالي يبحث عن الأنظمة الجغرافية المستخدمة في قطر بإدخال Qatar في مربع البحث وتحديد Lat Longs في القائمة المنسدلة Category:



الشكل 3-22 صندوق حوار Coordinate System - Assign في AutoCAD Map 3D

في الإصدارات الأقدم من أوتوكاد يمكن استخدام الأمر ADESETCRDSYS لتعيين نظام الإحداثيات المرجعي للملف الخريطة الحالي. في مربع الحوار Assign Global Coordinate System يمكن تحديد نظام الإحداثيات في القسم Current Drawing بإدخال رمز (Code) نظام الإحداثيات في AutoCAD Map 3D أو بالنقر فوق زر Select Coordinate System وانتقاء نظام الإحداثيات الجغرافي من المكتبة.



الشكل 3-23 صندوق حوار Assign Global Coordinate System في AutoCAD Map 3D

.3.3.5.1.2 إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات الجغرافية

مشروع:

قام أبو الريحان البيروني (Abū Rayḥān al-Bīrūnī) في العام 1023 بقياس نصف قطر الأرض بطريقة المثلثات وكانت نتيجة القياس قريبة جداً من القياسات الحديثة، ويراد إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية نسميه Biruni 1023 مبني على قياسات أبو الريحان البيروني لنصف قطر الأرض، حيث a = b = 6,339,600.00 m وبالتالي f = 0.

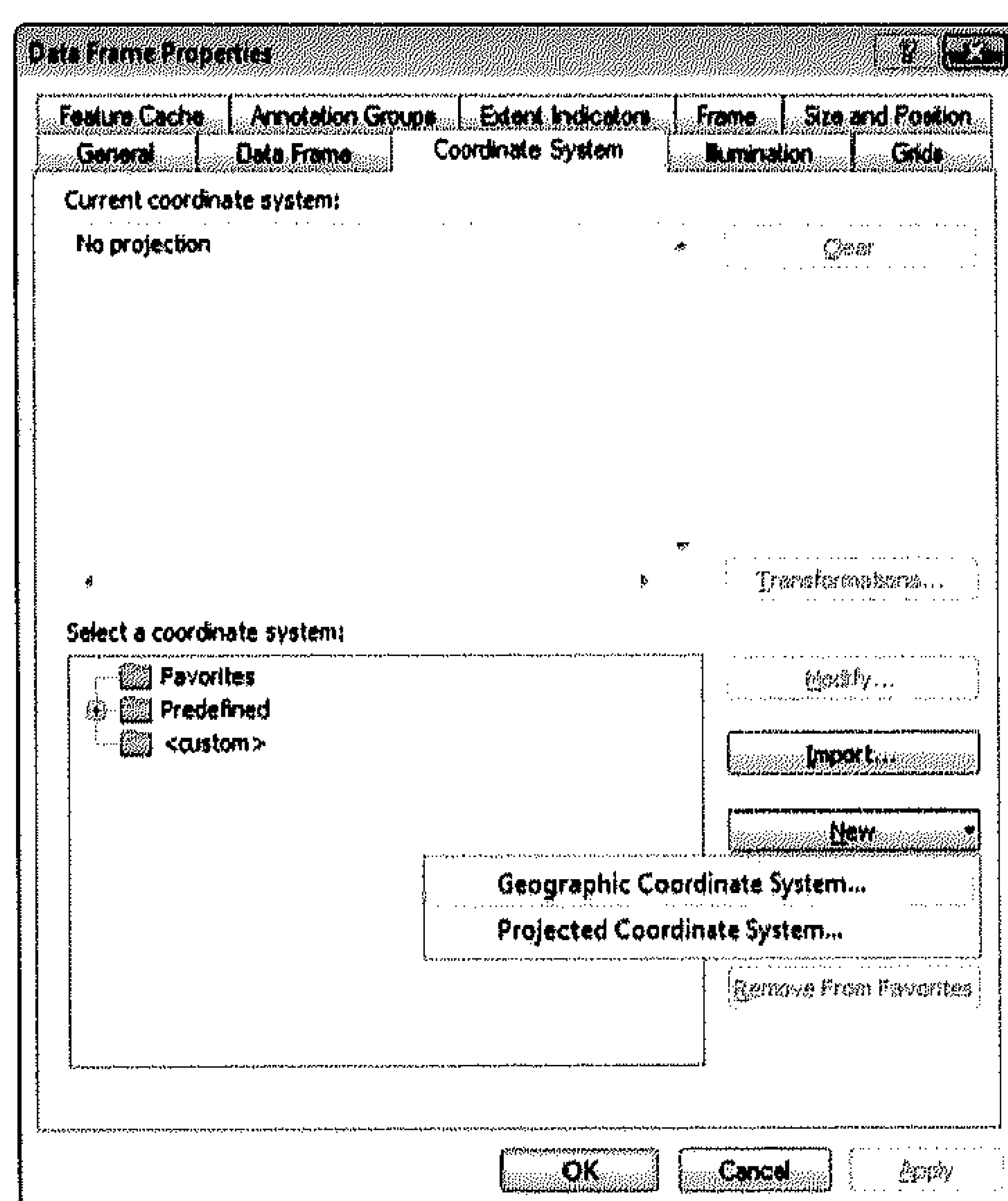
يمر خط الزوال الرئيسي في كاث (Kath) في خوارزم (أوزبكستان حالياً) التي ولد فيها البيروني، والتي تسمى الآن بيروني (Beruni) تخليداً لاسمه، حيث زاوية خط الطول في كاث:

$$\lambda = 60°44'35.7066"E = 60.743252°$$

الحل:



يمكن إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية في ArcGIS من خلال مربع حوار خصائص إطار البيانات:



الشكل 3-24 صندوق حوار خصائص إطار البيانات في ArcGIS

ندخل معلومات النظام المرجعي الجديد كما يلي:

الشكل 3-25 معلومات النظام المرجعي **Biruni 1023** في **ArcGIS**

بعد النقر على زر موافق، والعودة إلى صندوق الحوار السابق، يمكن حفظ نظام الإحداثيات الجديد بالنقر فوق زر Add To Favorites. يقوم ArcGIS بحفظ النظام في ملف في هيئة PRJ في المجلد:

C:\Users\YourName\AppData\Roaming\ESRI\Desktop10.0\ArcMap\Coordinate Systems

وهو ملف نصي يمكن منه قراءة صيغة النص المعروف (WKT) من هذا النظام:

```
GEOGCS["Biruni_1023",DATUM["Biruni_1023",SPHEROID["Biruni_1023",6339600.0,0.0]],PRIMEM["Kath",66.74325183333333],UNIT["Degree",0.0174532925199433]]
```

AutoCAD® Map 3D

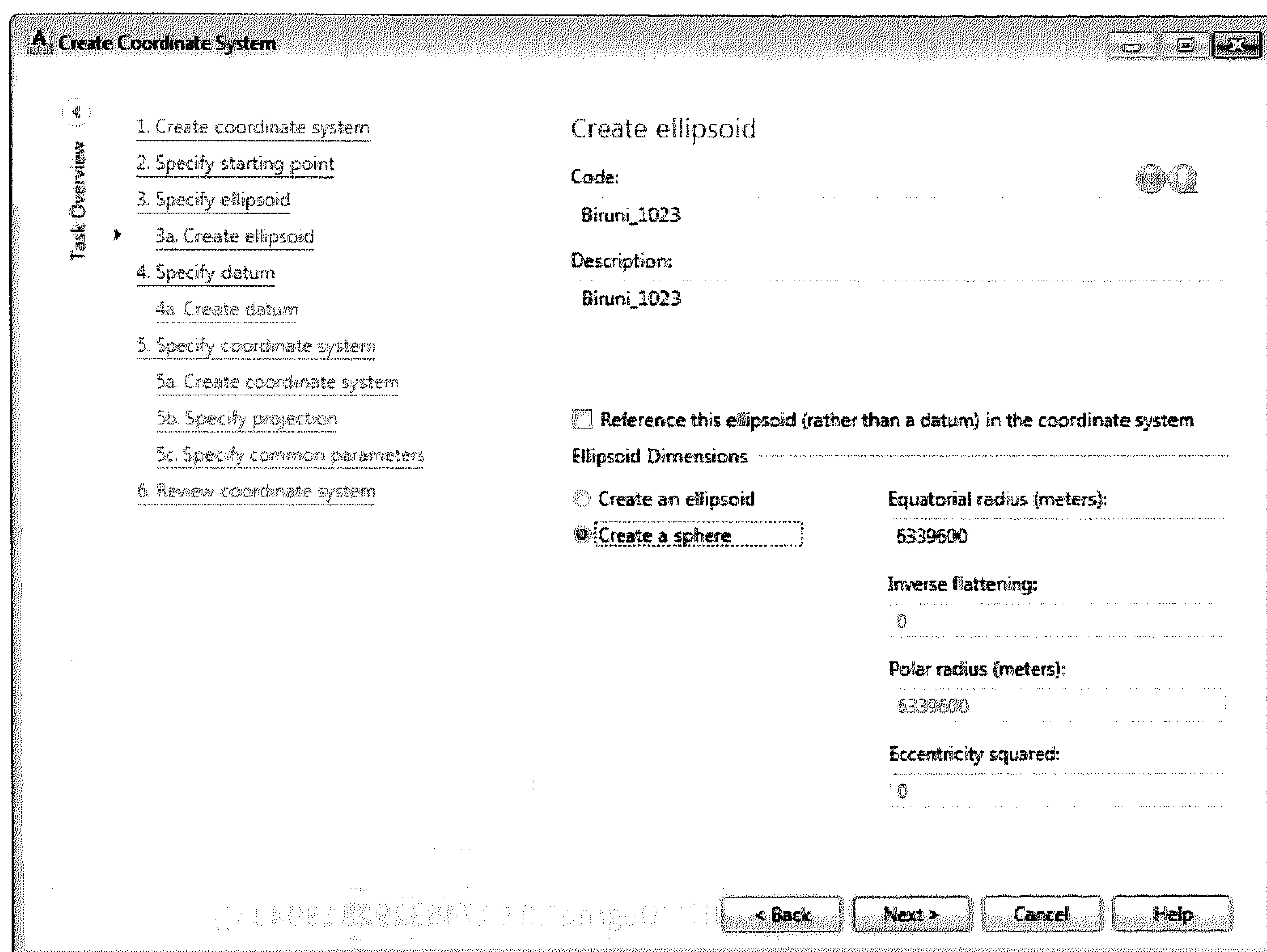
يمكن إنشاء نظام إحداثيات مرجعي في AutoCAD Map 3D باستخدام الأمر Define Global Coordinate System:

Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Define
Command: ADEDEFCRDSYS

ملاحظة: يتطلب إنشاء نظام مرجعي جديد في AutoCAD Map 3D صلاحية إدارية، ويمكن تسجيل الدخول بهذه الصلاحيات باستخدام الأمر MAPLOGIN أو بالنقر فوق أيقونة البرنامج بزر الفأرة الأيمن واختيار Run as administrator، أو بمنح المستخدم إذن (permission) تعديل المجلد:

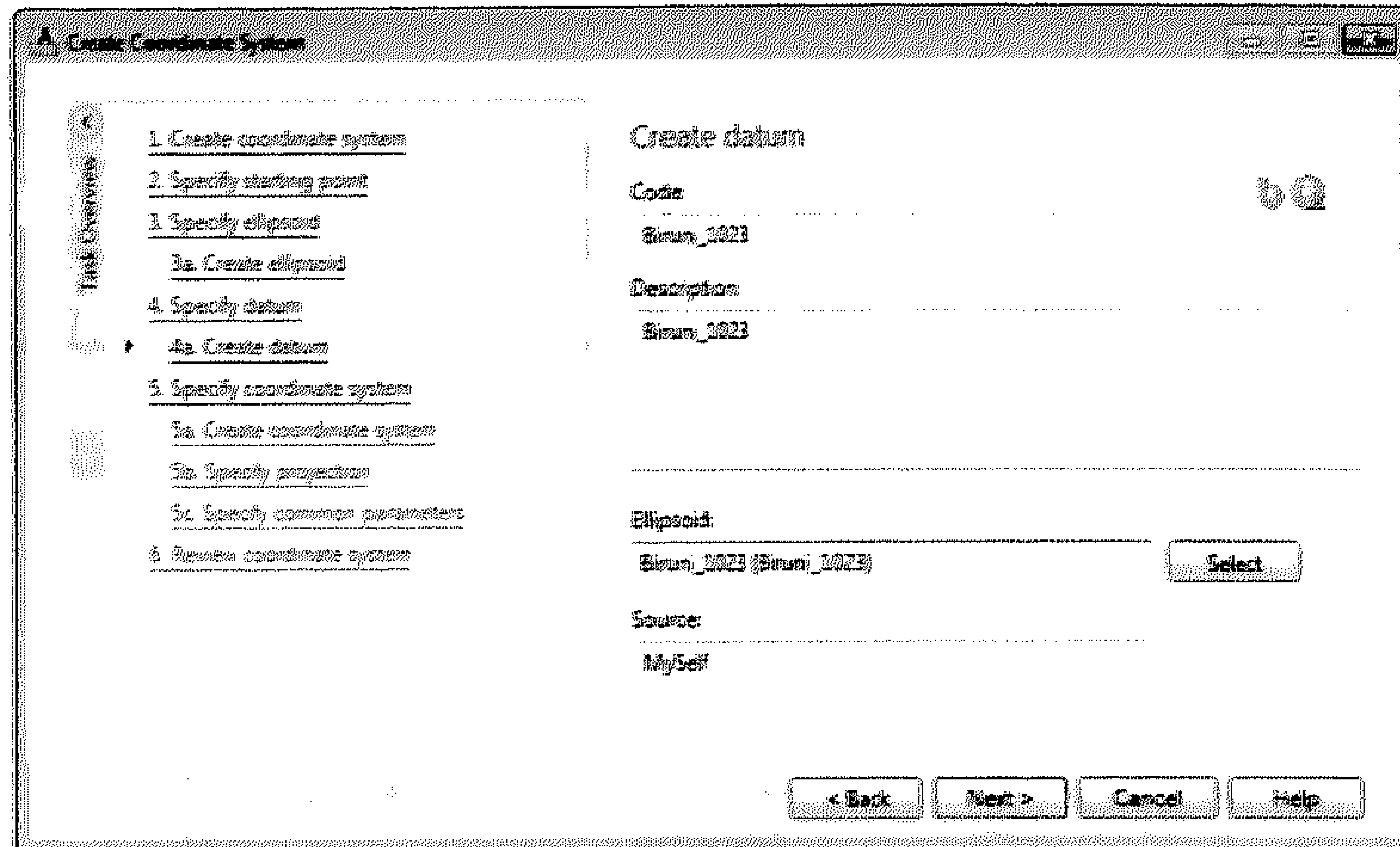
C:\ProgramData\Autodesk\Geospatial Coordinate Systems

يمكن في AutoCAD Map 3D إنشاء النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Biruni 1023 باستخدام معالج (wizard) إنشاء النظام المرجعي:



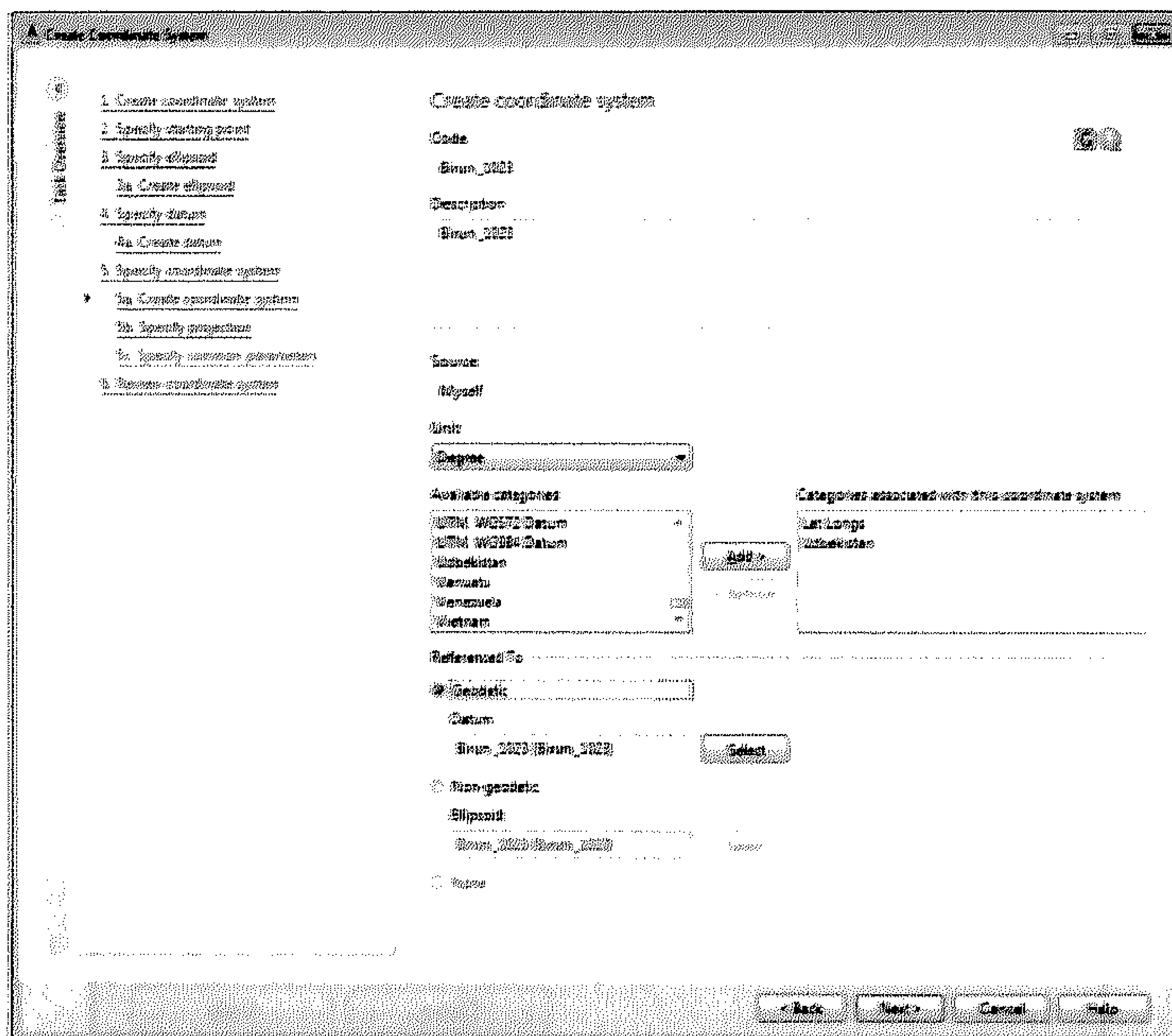
الشكل 3-26 إنشاء المجسّم الإهليلجي في معالج إضافة نظام مرجعي في AutoCAD Map 3D

في النافذة التالية انتق Create a new datum وانقر فوق الزر Next، ثم أدخل رمز المرجع الجيوديسي الجديد وشرحاً عنه، وحدّد مصدر معلومات هذا المرجع في مربع الإدخال Source.



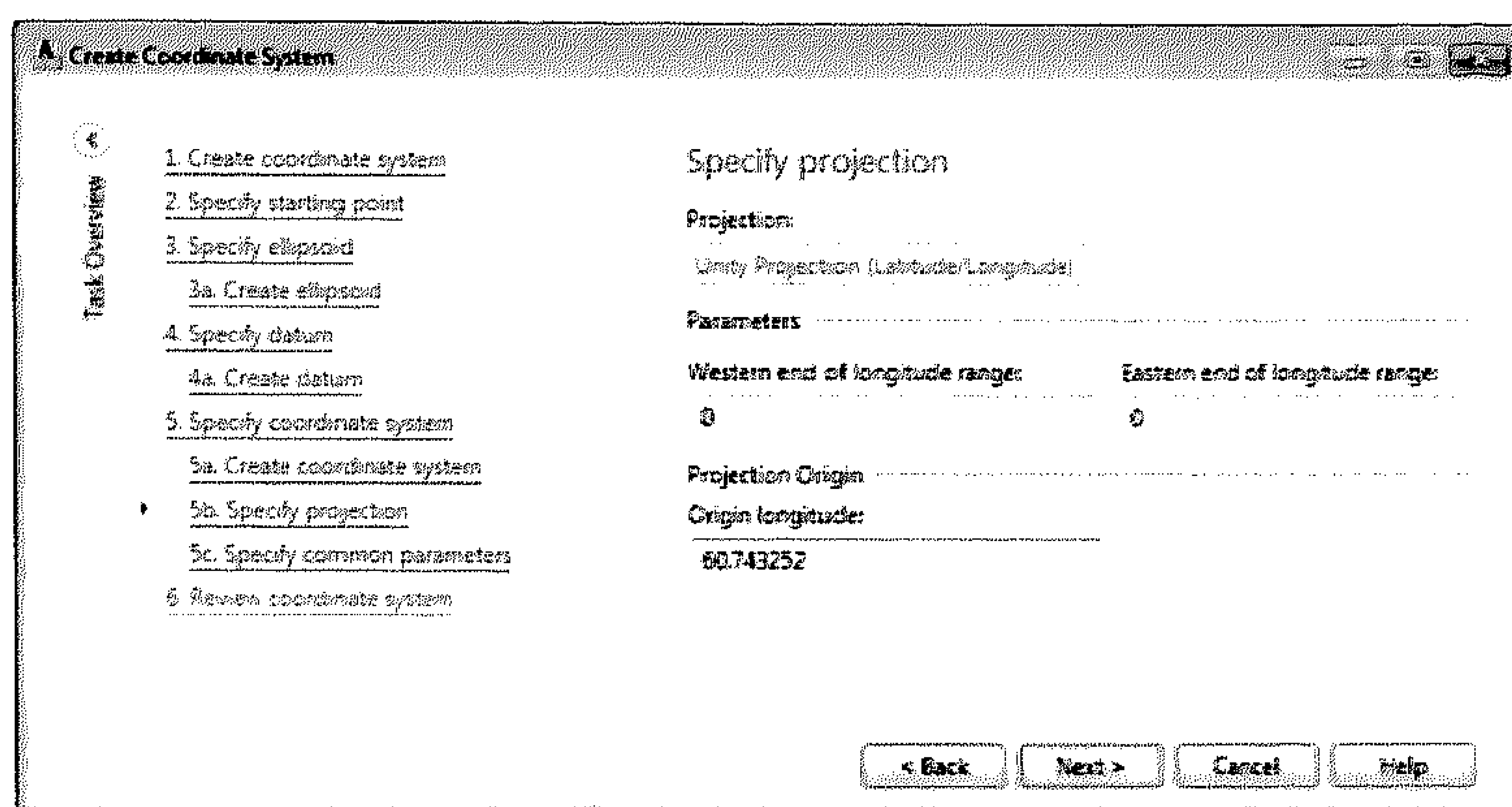
الشكل 3-27 إنشاء المرجع الجيوديسي

انقر فوق الزر Next وفي النافذة التالية انتق Geographic من القائمة المنسدلة Coordinate System Type، وانقر فوق الزر Next. في النافذة التالية أدخل رمز النظام الجديد وشرحاً عنه، وقم بإضافة الفئتين Long Lat و Uzbekistan إلى النظام الجديد (تقع كاث حالياً في أوزبكستان)، وهي ميزة مفيدة لتنظيم الأنظمة المرجعية للإحداثيات في مجموعات:



الشكل 3-28 إنشاء النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Biruni 1023

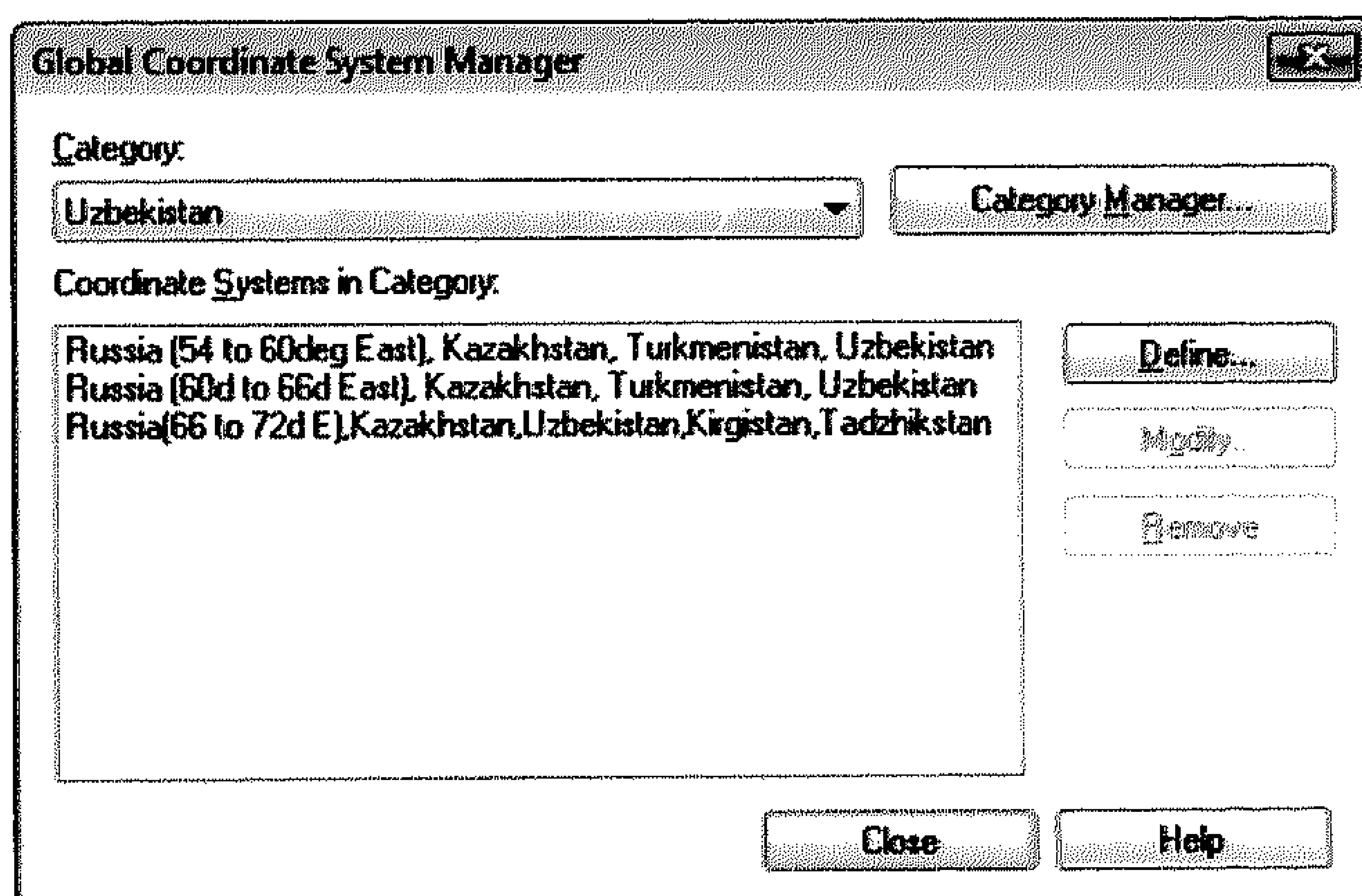
يتطلب أوتوكاد تعريف نظام الإسقاط الخاص بالنظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية، ويكون ذلك بالانتقال إلى النافذة التالية وانتقاء Unity Projection نظراً لأن النظام الذي نقوم بإنشائه نظام جغرافي ولا نرغب في تعريف نظام إسقاط خاص به (انظر 4.11.2 إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطة)، مع إدخال خط طول كاث في مربع الإدخال Origin Latitude:



الشكل 3-29 إدخال وسطاء الإسقاط للنظام المرجعي الجديد

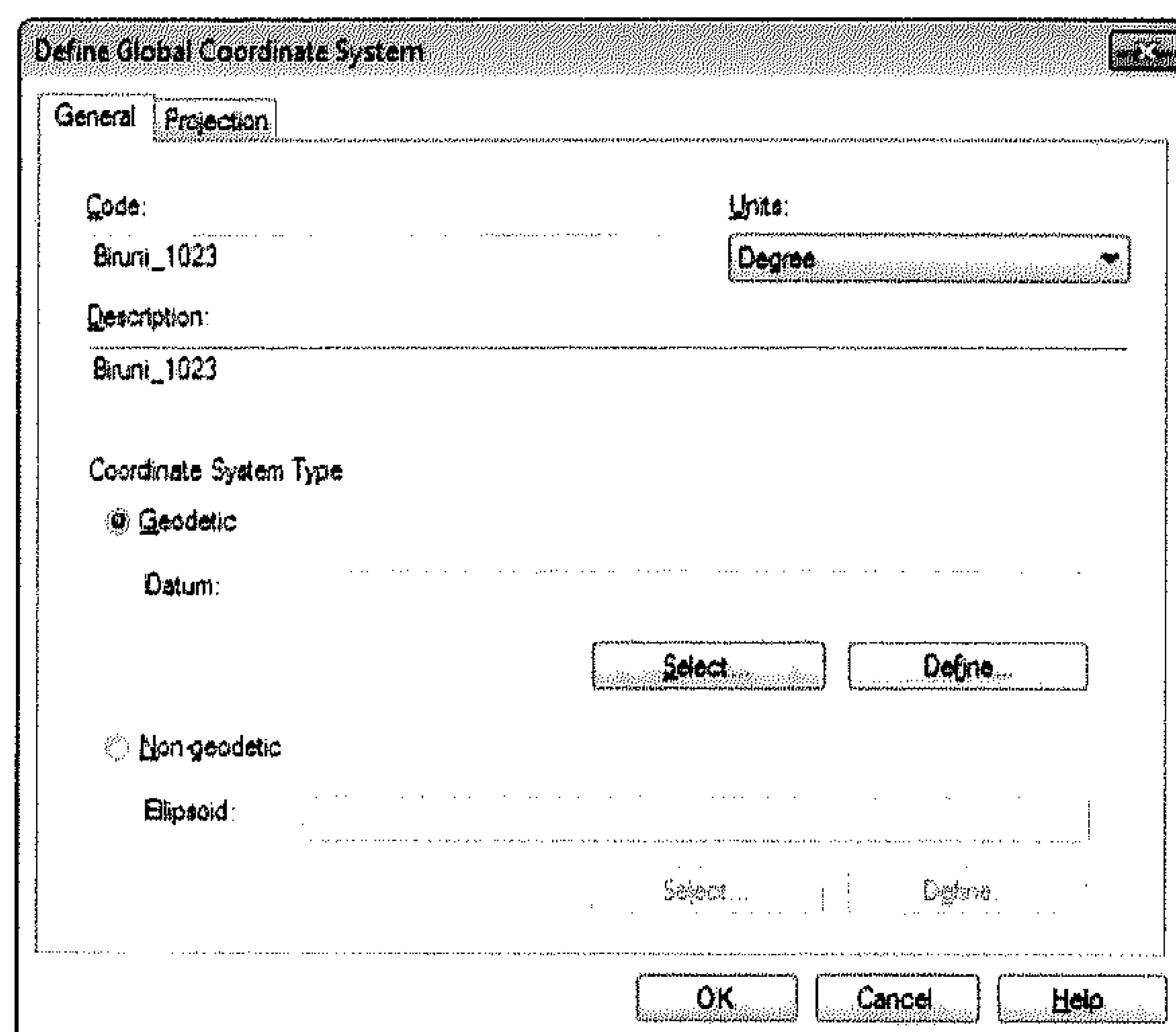
في النافذة التالية أدخل 1 في مربع الإدخال Scale وقم بحفظ النظام المرجعي الجديد.

في الإصدارات الأقدم من أوتوكاد يمكن استخدام الأمر ADEDEFCRDSYS لإنشاء النظام المرجعي الجديد. في مربع الحوار Global Coordinate System Manager يمكن اختيارياً إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية تحت فئة محددة. لحفظ النظام الذي نقوم بإنشائه في الفئة الخاصة بأوزبكستان نختار Uzbekistan من القائمة المنسدلة Category.



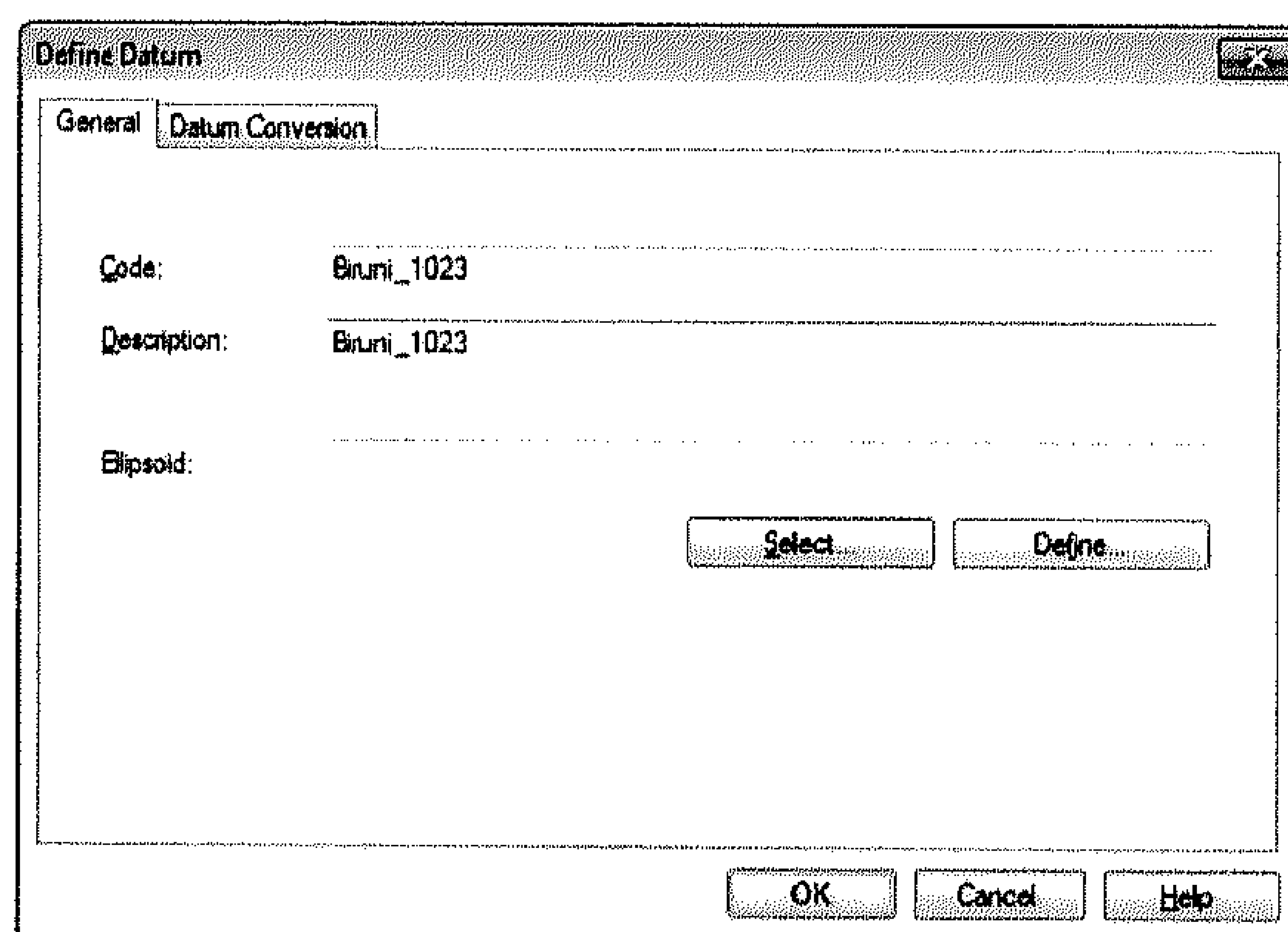
الشكل 3-30 صندوق حوار Global Coordinate System Manager

يُعرّف النظام الجديد بالنقر فوق الزر Define:



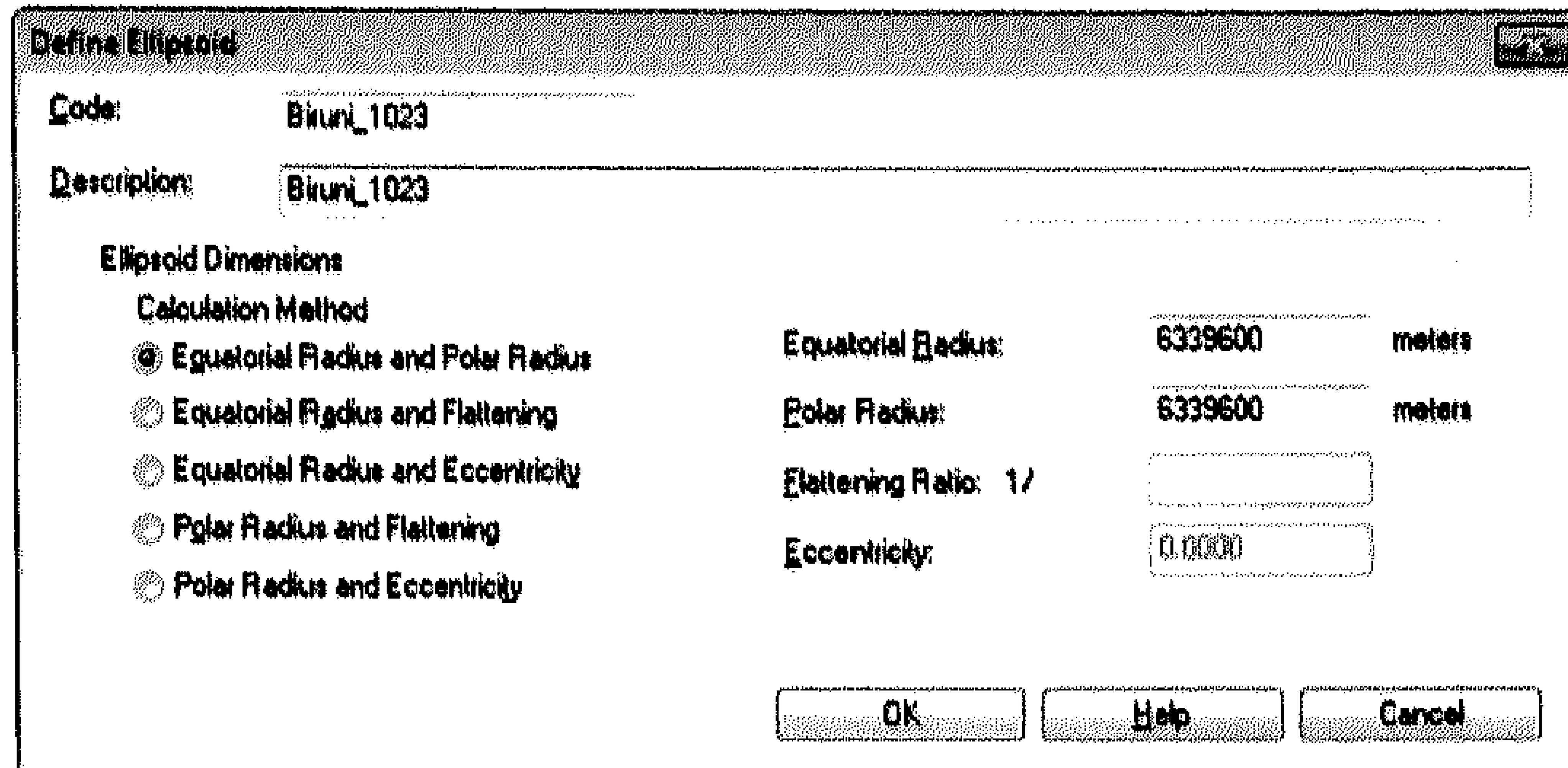
الشكل 3-31 صندوق حوار **Define Global Coordinate System**

في صندوق الحوار Define Global Coordinate Systems أدخل رمز النظام الجديد وشرحاً عنه، وحدّد الدرجة وحدة قياس له نظراً لأنه نظام جغرافي. لتعريف مرجع جيوديسي جديد انقر فوق الزر Define في Geodetic.



الشكل 3-32 صندوق حوار **Define Datum**

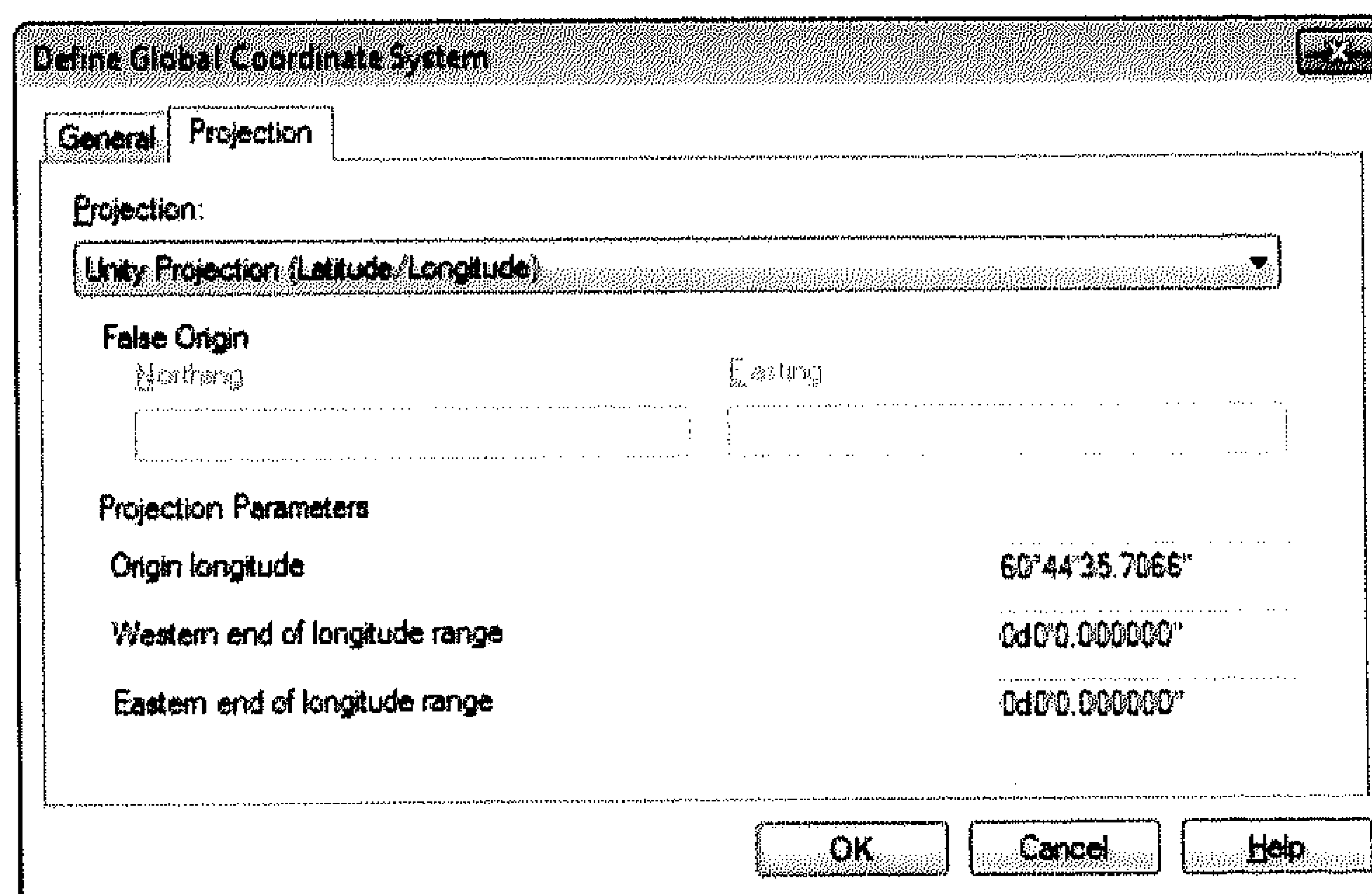
في صندوق الحوار Datum Manager انقر فوق الزر Define، ثم في صندوق الحوار Define Datum أدخل رمز المرجع الجيوديسي الجديد وشرحاً عنه. لتعريف المجسّم الإهليلجي الجديد ننقر فوق الزر Define.



الشكل 3-33 صندوق حوار Define Ellipsoid

في صندوق الحوار Ellipsoid Manager انقر فوق الزر Define، ثم في مربع الحوار Define Ellipsoid أدخل رمز المجسّم الإهليلجي الجديد وشرحاً عنه، وأدخل نصفي القطرين الاستوائي والقطبي، ثم انقر فوق الزر موافق في صناديق الحوار وعد إلى صندوق الحوار Define Global Coordinate System.

يتطلب أوتوكاد تعريف نظام الإسقاط الخاص بالنظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية، ويكون ذلك بالانتقال إلى **لسان التبويب** (tab) المسمى Projection وانتقاء Unity Projection نظراً لأن النظام الذي نقوم بإنشائه نظام جغرافي ولا نرغب في تعريف نظام إسقاط خاص به (انظر 4.11.2 إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطة)، مع إدخال خط طول كاث في مربع الإدخال Origin Latitude:



الشكل 3-34 لسان تبويب Projection في صندوق حوار Define Global Coordinate System

نقوم بحفظ النظام الجديد بالنقر فوق الزر موافق.



من الجدول MDSYS.SDO_UNITS_OF_MEASURE نجد معرّفات وحدات القياس المطلوبة لتعريف النظام:

9001: metre
9102: degree

نقوم أولاً بإضافة المجسّم الإهليلجي، وبما أنه كرة يكون مقلوب التفلطح 1000000000000:

```
INSERT INTO MDSYS.SDO_ELLIPSOIDS (ELLIPSOID_ID, ELLIPSOID_NAME,
SEMI_MAJOR_AXIS, UOM_ID, INV_FLATTENING, SEMI_MINOR_AXIS,
INFORMATION_SOURCE, DATA_SOURCE, IS_LEGACY, LEGACY_CODE)
VALUES (1000003, 'Biruni 1023', 6339600.0, 9001, 1000000000000, NULL, 'Myself',
'Myself', 'FALSE', NULL);
```

قبل إنشاء المرجع الجيوديسي يجب إنشاء خط الزوال الرئيسي:

```
INSERT INTO MDSYS.SDO_PRIME_MERIDIANS (PRIME_MERIDIAN_ID,
PRIME_MERIDIAN_NAME, GREENWICH_LONGITUDE, UOM_ID, INFORMATION_SOURCE,
DATA_SOURCE)
VALUES (1000003, 'Kath', 60.743252, 9102, 'Myself', 'Myself');
```

نقوم بإنشاء المرجع الجيوديسي من المجسّم وخط الزوال:

```
INSERT INTO MDSYS.SDO_DATUMS (DATUM_ID, DATUM_NAME, DATUM_TYPE,
ELLIPSOID_ID, PRIME_MERIDIAN_ID, INFORMATION_SOURCE, DATA_SOURCE, SHIFT_X,
SHIFT_Y, SHIFT_Z, ROTATE_X, ROTATE_Y, ROTATE_Z, SCALE_ADJUST, IS_LEGACY,
LEGACY_CODE)
VALUES (1000003, 'Biruni 1023', 'GEODETIC', 1000003, 1000003, 'Myself', 'Myself', NULL,
NULL, NULL, NULL, NULL, NULL, NULL, 'FALSE', NULL);
```

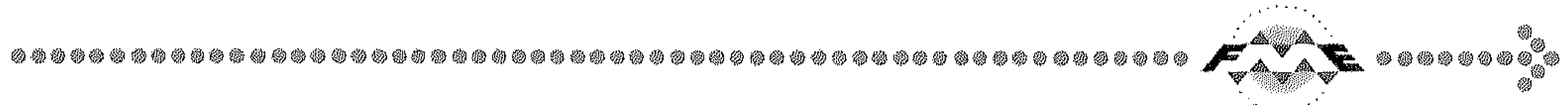
ونعلم من الجدول MDSYS.SDO_COORD_SYS أن معرّف نوع نظام الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد هو 6422. نقوم الآن بإنشاء النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ثنائي الأبعاد:

```
INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_REF_SYSTEM (SRID, COORD_REF_SYS_NAME,
COORD_REF_SYS_KIND, COORD_SYS_ID, DATUM_ID, SOURCE_GEOG_SRID,
PROJECTION_CONV_ID, CMPD_HORIZ_SRID, CMPD_VERT_SRID, INFORMATION_SOURCE,
DATA_SOURCE, IS_LEGACY, LEGACY_CODE, LEGACY_WKTEXT, LEGACY_CS_BOUNDS)
```

```
VALUES (1000003, 'Biruni 1023', 'GEOGRAPHIC2D', 6422, 1000003, NULL, NULL, NULL,
NULL, 'Myself', 'Myself', 'FALSE', NULL, NULL, NULL);
```

يمكن مشاهدة نسخة النص المعروف للنظام الجديد بالاستعلام التالي:

```
SQL> SELECT srid, wktext FROM CS_SRS WHERE srid = 1000003;
SRID
----------
WKTEXT
--------------------------------------------------------------------
1000003
GEOGCS [ "Biruni 1023", DATUM ["Biruni 1023 (EPSG ID 1000003)", SPHEROID ["Biruni
1023 (EPSG ID 1000003)", 6339600.0, 1000000000000.0]], PRIMEM [ "Kath", 60.743252 ],
UNIT ["Decimal Degree", 0.0174532925199433]]
```



يمكن في FME إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية بتحرير الملف MyCoordSysDefs.fme في المجلد Reproject في مجلد FME، وإضافة وسطاء النظام المراد إنشاؤه. النص التالي يصف النظام المرجعي المطلوب:

```
COORDINATE_SYSTEM_DEF LL.BIRUNI-1023 \
DESC_NM "Biruni 1023" \
SOURCE "Myself" \
PROJ LL \
UNIT DEGREE \
DT_NAME BIRUNI-1023

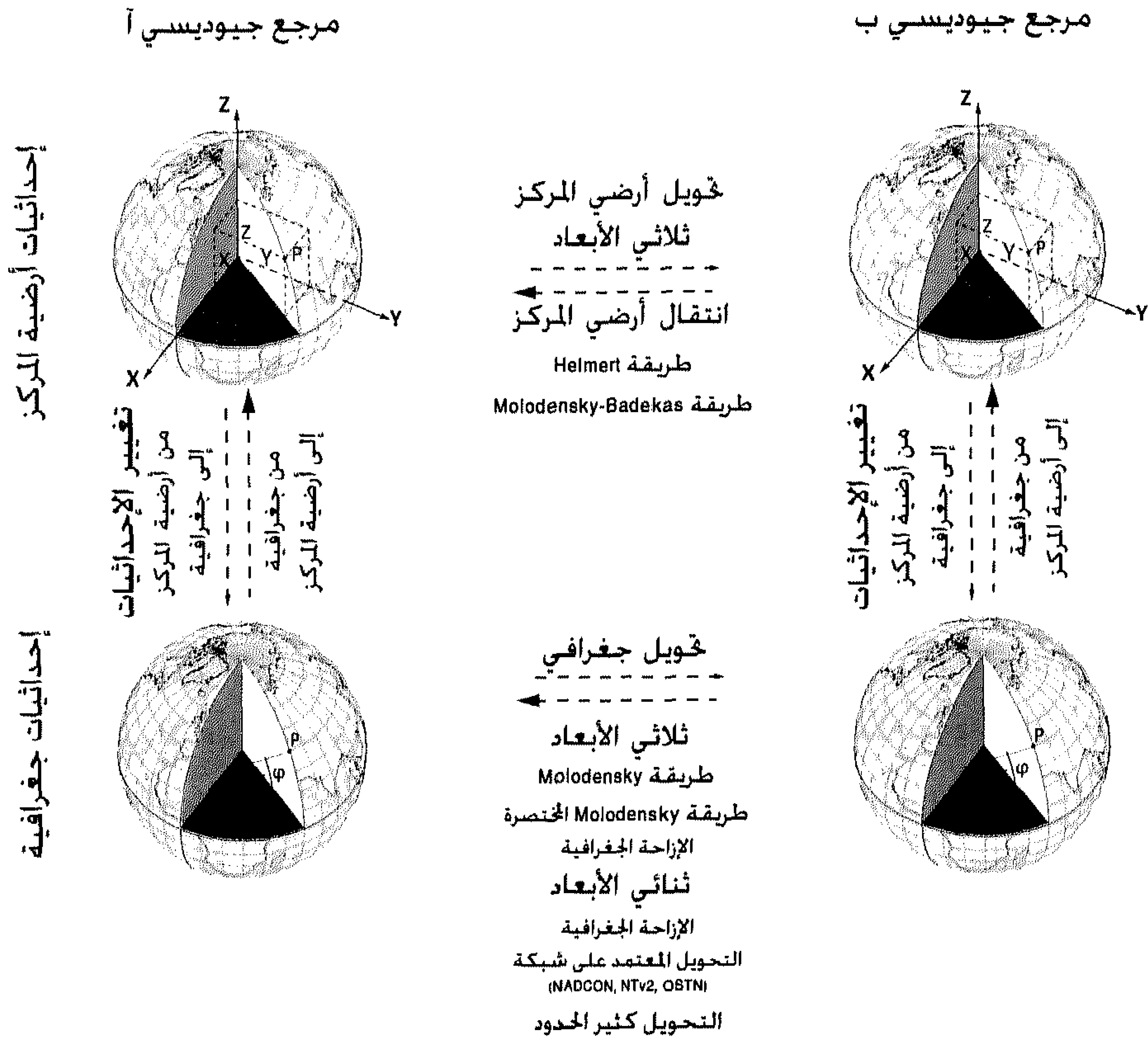
DATUM_DEF BIRUNI-1023 \
DESC_NM "Biruni 1023" \
SOURCE "Myself" \
ELLIPSOID BIRUNI-1023

ELLIPSOID_DEF BIRUNI-1023 \
DESC_NM "Biruni 1023" \
SOURCE "Myself" \
E_RAD 6339600.0 \
P_RAD 6339600.0
```

.3.3.5.2 تحويل البيانات المكانية بين الأنظمة الجغرافية

كما ذكرنا في بحيث إعداد بيئة العمل يمكن إضافة البيانات المكانية من مصادر مختلفة وسيقوم ArcGIS و3D Map AutoCAD بتحويلها تلقائياً إلى نظام إحداثيات ملف الخريطة بحيث تتراكب بصورة صحيحة، ولا تُدخل أية تعديلات على إحداثيات البيانات الأصلية، لأن ArcGIS وAutoCAD Map يقومان بذلك لحظياً (on the fly) لأغراض العرض فقط.

لكن العمل مع البيانات المكانية يتطلب أحياناً تحويل البيانات المكانية بصورة نهائية، وليس بصورة مؤقتة، من نظام مرجعي ما للإحداثيات الجغرافية إلى نظام مرجعي آخر للإحداثيات الجغرافية، وغالباً ما يكون ذلك عند مشاركة البيانات المكانية بين جهات تعتمد أنظمة مرجعية مختلفة، أو عند انتقال الجهة أو الدولة نهائياً إلى نظام جديد.



الشكل 3-35 طرق تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة

تعمل بعض عمليات تحويل الإحداثيات مع الإحداثيات أرضية المركز (X, Y, Z) فقط، ولذلك تتطلب تغيير الإحداثيات الجغرافية (φ, λ, h) إلى أرضية المركز أولاً (انظر 5.1 بين الجغرافية وأرضية المركز) وتنفيذ التحويل عليها من المجسّم الإهليلجي المصدر إلى المجسّم الإهليلجي الهدف، ثم تغيير الإحداثيات أرضية المركز الناتجة من عملية التحويل إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى، بينما تعمل بعض التحويلات على الإحداثيات الجغرافية مباشرة، ومن السهل تمييز ذلك من صيغة معادلة التحويل.

بهدف تنظيم المعلومات في هذا الكتاب سنتناول بالتفصيل عملية تحويل إحداثيات البيانات المكانية بين نظامين مرجعيين للإحداثيات الجغرافية في فصل العمليات على الإحداثيات (انظر 5.2 تحويل الإحداثيات).

3.4. النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية

يعتمد **النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية** (vertical coordinate reference system: VertCRS) على نظام إحداثيات رأسية ومرجع رأسي. **نظام الإحداثيات الرأسية** (vertical coordinate system) هو نظام إحداثيات أحادي البعد يستخدم لتسجيل ارتفاع (أو عمق) النقاط وهو مفهوم رياضي مجرد ليس له صلة بالأرض، ولذلك يستخدم المرجع الرأسي لتعريف الصلة بينه وبين الأرض.

بخلاف الأنظمة المرجعية الجيوديسية التي تصف السطح الرياضي بأنه مجسّم إهليلجي أو كرة، لا يتضمن تعريف النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية توصيف شكل السطح الذي تقاس منه الإحداثيات الرأسية، ولا المسافة بينه وبين المجسّم الإهليلجي لأن هذا السطح الذي تقاس منه الإحداثيات الرأسية متموّج بصورة غير منتظمة. بدلاً من ذلك يُعرّف هذا السطح من خلال مصفوفة من القيم التي تبين الفرق بينه وبين سطح آخر، حيث تستخدم هذه المصفوفة في العمليات على الإحداثيات التي تقوم بتحويل الإحداثيات الرأسية من نظام مرجعي إلى آخر (انظر 5.2.3 التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية).

3.4.1. المرجع الرأسي

يصف **المرجع الرأسي** (vertical datum) إحداثيات النقطة في الاتجاه الرأسي، ويكون منسوباً إلى متوسط منسوب البحر في معظم الأحيان.

ترى المواصفة القياسية ISO 19111 ضرورة تعريف المرجع الرأسي من خلال تعريف أنواعه الأربعة:

- **المرجع الرأسي الجيوئيدي** (geoidal vertical datum) وهو النوع الأكثر شيوعاً من المراجع الرأسية ويقع الصفر في نظام الإحداثيات المرتبط به على سطح متساوي الكمون مثل الجيوئيد.
- **المرجع الرأسي للعمق** (depth vertical datum) ويقع الصفر في نظام الإحداثيات المرتبط به على سطح ذي معنى بالنسبة للهدف من استخدامه مثل أدنى جزر فلكي (lowest astronomical tide: LAT) المستخدم كمرجع للخرائط البحرية.
- **المرجع الرأسي البارومتري** (barometric vertical datum) المعتمد على الضغط الجوي.
- يتضمن النوع الرابع جميع الأنواع الأخرى من المراجع الرأسية والمعتمدة على سطح ما ذي معنى، مثل أدنى نقطة من طبقة جيولوجية.

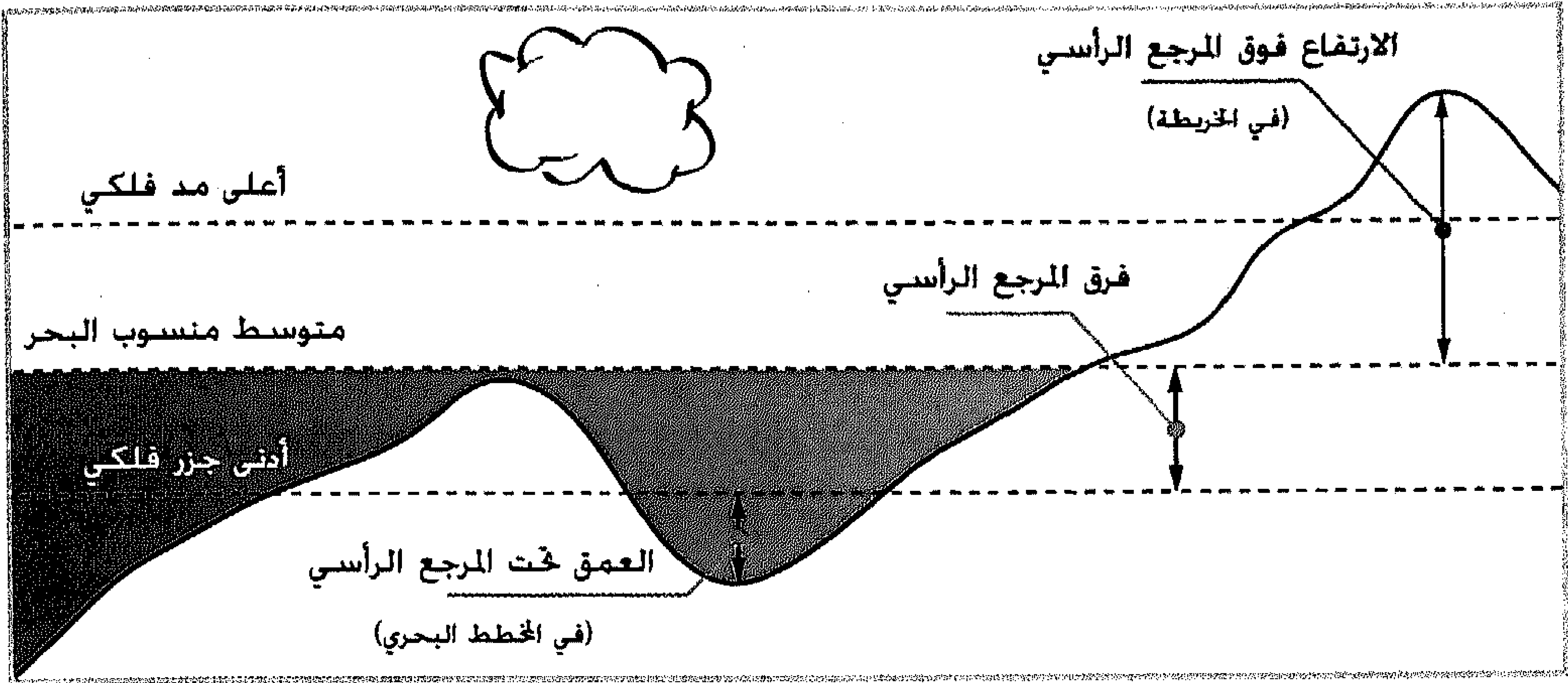
يشار إلى النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية في النص المعروف (WKT) اختصاراً بـ VERT_CS، ويوضح المثال التالي النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية المسمى **Fao 1979 height** والمستخدم في العراق:

```
VERT_CS["Fao 1979 height",
    VERT_DATUM["Fao 1979",
      AUTHORITY["EPSG","1028"]],
    AUTHORITY["EPSG","3886"]]
```

المرجع الرأسي في هذا النظام Fao 1979 مناسب للأعمال الطوبوغرافية والجيوديسية ومبني على متوسط منسوب البحر في الفاو عند مصب شط العرب في الخليج العربي. قِيسَ متوسط منسوب البحر لمدة سنتين في أواخر السبعينيات من القرن الماضي.

3.4.2. الارتفاعات والأعماق

تظهر في قاع البحار والمحيطات تضاريس مشابهة للتضاريس على سطح الأرض، ولذلك تقاس هذه الأعماق إلى سطح مرجعي بالطريقة ذاتها التي يقاس فيها ارتفاع التضاريس فوق سطح الأرض. يكون هذا السطح المرجعي غالباً متوسط منسوب البحر أو سطح الجيوئيد (وهما سطحان منطبقان تقريباً) أو أي سطح آخر ذي معنى في منطقة الدراسة مثل أدنى جزر فلكي. وعندما يستخدم سطحان مرجعيان مختلفان لقياس الارتفاعات والأعماق؛ مثل اعتماد متوسط منسوب البحر مرجعاً رأسياً للارتفاعات وأدنى جزر فلكي مرجعاً رأسياً للأعماق يسمى الفرق بينهما **فرق المرجع الرأسي** (vertical datum separation).



الشكل 3-36 فرق المرجع الرأسي (عندما يستخدم سطحان مرجعيان مختلفان لقياس الارتفاعات والأعماق)

3.4.2.1. قياس الأعماق والمساحة المائية

يُعنى **قياس الأعماق** (bathymetry) و**المساحة المائية** (hydrography) بدراسة التضاريس في أحواض الأنهر وقيعان البحار والمحيطات (تسمى المساحة المائية المساحة البحرية تجاوزاً لكنها تعنى بالأنهار والبحيرات وكل المناطق المائية)، بالطريقة ذاتها التي تُعنى فيها الطوبوغرافيا بدراسة التضاريس فوق سطح الأرض. يكون العمق الباثيمتري موجباً تحت الجيوئيد وسالباً فوقه، على عكس ارتفاع التضاريس الذي يكون موجباً فوق الجيوئيد وسالباً تحته. وعند تركيب بيانات الارتفاع و**بيانات الأعماق** (bathymetric data) معاً في خريطة واحدة، نتوقع أن تتصل وبصورة سلسلة **خطوط تساوي الارتفاع** (height contours or isohypses) و**خطوط تساوي الأعماق** (depth contours or isobaths).

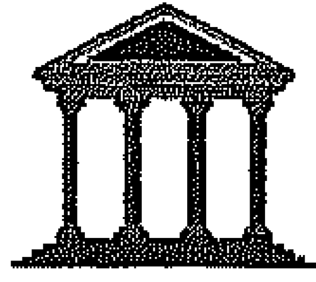
يمثّل **مخطط الأعماق** (bathymetric chart) المعالم تحت سطح الماء بدقة وبذلك يختلف عن **المخطط الهيدروغرافي** (hydrographic chart) الذي يهدف إلى توفير ملاحة آمنة، ولذلك تظهر بيانات الأعماق ولا تظهر المعالم الفعلية في المخطط الهيدروغرافي لتوفير نسخة مبسطة يمكن قراءتها بصورة أفضل ما يساعد الملاحين على تجنب الأخطار الكامنة تحت سطح الماء.

3.4.2.2. نماذج الارتفاعات

هناك نوعان أساسيان من نماذج تمثيل الارتفاع مطلوبة لدعم المتطلبات في القطاعات المختلفة، هما ارتفاع تضاريس الأرض بدون الأسطح والأجسام التي عليها (الأرض الجرداء) ويمثله **نموذج الارتفاع الرقمي** (digital elevation model: DEM)، والثاني ارتفاع تضاريس الأرض

والأسطح التي عليها، بما في ذلك المباني والأشجار والجسور، الخ، ويمثله **نموذج السطح الرقمي** (DSM). يستخدم نموذج الارتفاع الرقمي في **التصحيح العمودي** (orthorectification) للصور الجوية، في حين يستخدم نموذج السطح الرقمي في **تحليل الرؤية** (viewshed analysis).

من ناحية أخرى، تُمثّل المسطحات المائية بطرق مختلفة في نماذج الارتفاع، فأحياناً تُمثّل البحيرات والمحيطات بسطح بسيط ارتفاعه صفر ويستخدم هذا التمثيل في النماذج المستخدمة في التصحيح العمودي للصور الجوية. وأحياناً تظهر بيانات الأعماق التي تمثل تضاريس حوض النهر أو قاع البحيرة الخ بدلاً من المسطح المائي في نموذج الارتفاع الرقمي، وأما في النماذج المستخدمة في حساب مساحات الأرض بدقة فلا يتوفر فيها أية بيانات تمثل المسطحات المائية.



تعتمد الكثير من الأنشطة في حياتنا اليومية على بيانات الارتفاعات والأعماق، ولها أهمية في المشروعات الكبيرة مثل التخطيط العمراني وبناء الطرق. ولأن المياه تتدفق إلى الأسفل تستخدم بيانات الارتفاع فوق سطح البحر لتحديد ميول أنابيب المياه وأنظمة الصرف الصحي. كما تدعم قياسات الأعماق سلامة المواصلات البحرية فوق وتحت سطح الماء في الأنهار والبحيرات والمحيطات



يمكن الحصول على بيانات الارتفاع والعمق من مصادر مختلفة توفر هذه البيانات للجمهور، ومن هذه المصادر:

- GTOPO30: بيانات الارتفاع لكامل العالم بدقة 30 ثانية (1 كلم تقريباً):

http://www1.gsi.go.jp/geowww/globalmap-gsi/gtopo30/gtopo30.html

- ETOPO1: نموذج التضاريس العالمي بدقة 1 دقيقة (2 كلم تقريباً) ويتضمن تضاريس الأرض وبيانات الأعماق:

http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html

- GMTED2010: بيانات العام 2010 من نموذج التضاريس العالمي بمستويات مختلفة من الوضوح (250 و500 و1000 متر تقريباً):

http://pubs.usgs.gov/of/2011/1073

- بيانات SRTM أو مهمة المسح الراداري للتضاريس من مكوك الفضاء (Shuttle Radar Topography Mission) التي أجراها مكوك الفضاء Endeavour التابع لوكالة الفضاء ناسا عام 2000:

http://srtm.usgs.gov/index.php

3.4.3. متوسط منسوب البحر

يُعدّ **متوسط منسوب البحر** (mean sea level: MSL) مرجعاً دولياً للارتفاعات وله أهمية خاصة في الأنشطة التجارية البحرية، والأمن والسلامة البحرية، الخ.

وبناءً على متوسط منسوب البحر تقوم الجهات المختصة بتحديد مجموعة أخرى من المناسيب لها دور مهم في تعريف حدود الملكيات الخاصة والعامة، وحدود المياه الإقليمية والمنطقة الاقتصادية الخالصة وحدود المياه الدولية

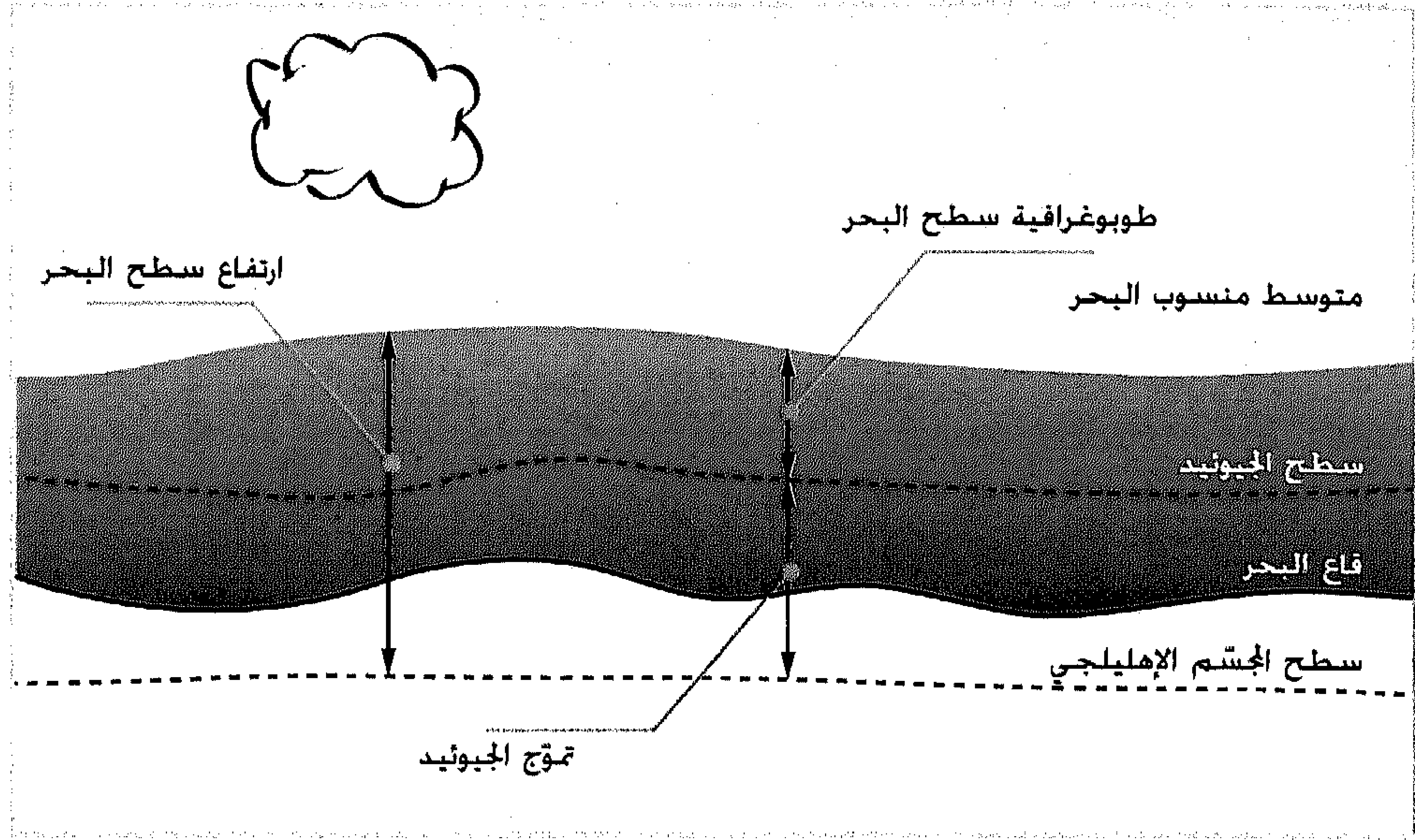
يتطابق الجيوئيد مع متوسط منسوب البحر المحلي في الدولة إذا كانت المياه بالقرب من السواحل في حالة توازن مطلق. وبما أن حالة التوازن المطلق هذه غير متحققة بسبب تيارات المحيطات واختلاف الكثافة ودرجة الحرارة الخ، يمكن أن يصل الفرق بين سطح الجيوئيد ومتوسط منسوب البحر المحلي في بعض المناطق من العالم إلى مترين. وهذا الفرق ليس ثابتاً إذ يمكن أن يمر متوسط منسوب البحر فوق أو تحت سطح الجيوئيد.

شرق ВОСТОК 東 øst

> تستخدم بعض المراجع مصطلح الجيوئيد المحلي للدلالة على متوسط منسوب البحر، وذلك تمييزاً عن الجيوئيد الحقيقي الذي يمكن أن يصل الفرق بين سطحه ومتوسط منسوب البحر المحلي في بعض المناطق من العالم إلى مترين. لكن مصطلح الجيوئيد المحلي يستعمل في أغلب الأحيان للدلالة على ذلك النموذج الذي يكون أكثر تفصيلاً ودقة من نماذج الجيوئيد العالمية، ويتم تطويره بتركيب وتكثيف شبكات قياس الجاذبية في منطقة ما لخدمة التطبيقات الجيوديسية.

تسمى ظاهرة الفرق بين الجيوئيد ومتوسط سطح البحر **طوبوغرافية سطح البحر** (sea surface topography: SST)، كما يسمى ارتفاع متوسط منسوب البحر فوق المجسّم الإهليلجي **ارتفاع سطح البحر** (sea surface height: SSH).

يتطلب تحديد متوسط منسوب البحر قياسات دقيقة على مدار سنوات طويلة، ما يجعله عملية صعبة، وبخاصة أنه يتأثر بعوامل على المدى الطويل، مثل العوامل الجيولوجية، والمناخية، وذوبان الكتل الجليدية في القطبين الخ، كما يتأثر بعوامل أخرى مثل المد والجزر، الضغط الجوي، الرياح الخ.

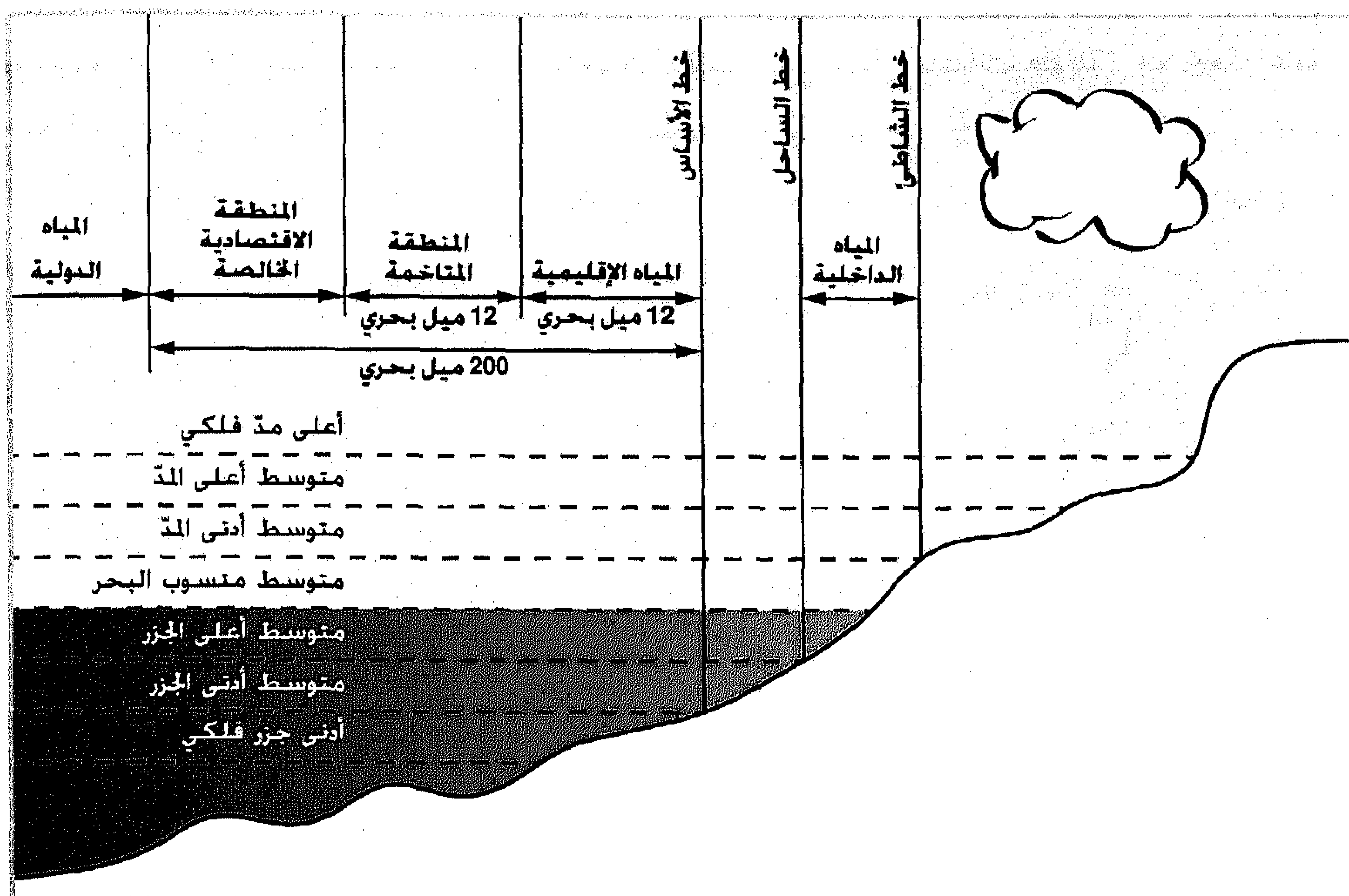


الشكل 3-37 متوسط منسوب البحر بالمقارنة مع سطوح أخرى

يتطلب تحديد متوسط منسوب البحر إجراء قياسات باستخدام جهاز ذي مسطرة مدرجة يسمى **مقياس المد والجزر** (tidal gauge or marigraph)، يطفو جزء منه فوق الماء فوق رصيف بحري أو داخل **بئر ترقيد** (stilling well) معدة لهذا الغرض. تُجرى القياسات على مدار الساعة لمدة 19 عشر عاماً، وهي الفترة التي يحتاجها القمر إلى المرور من النقطة ذاتها مرتين، وتسمى **الدورة الميتونية** (metonic cycle) وذلك لضمان تكرار شروط المد والجزر ذاتها.

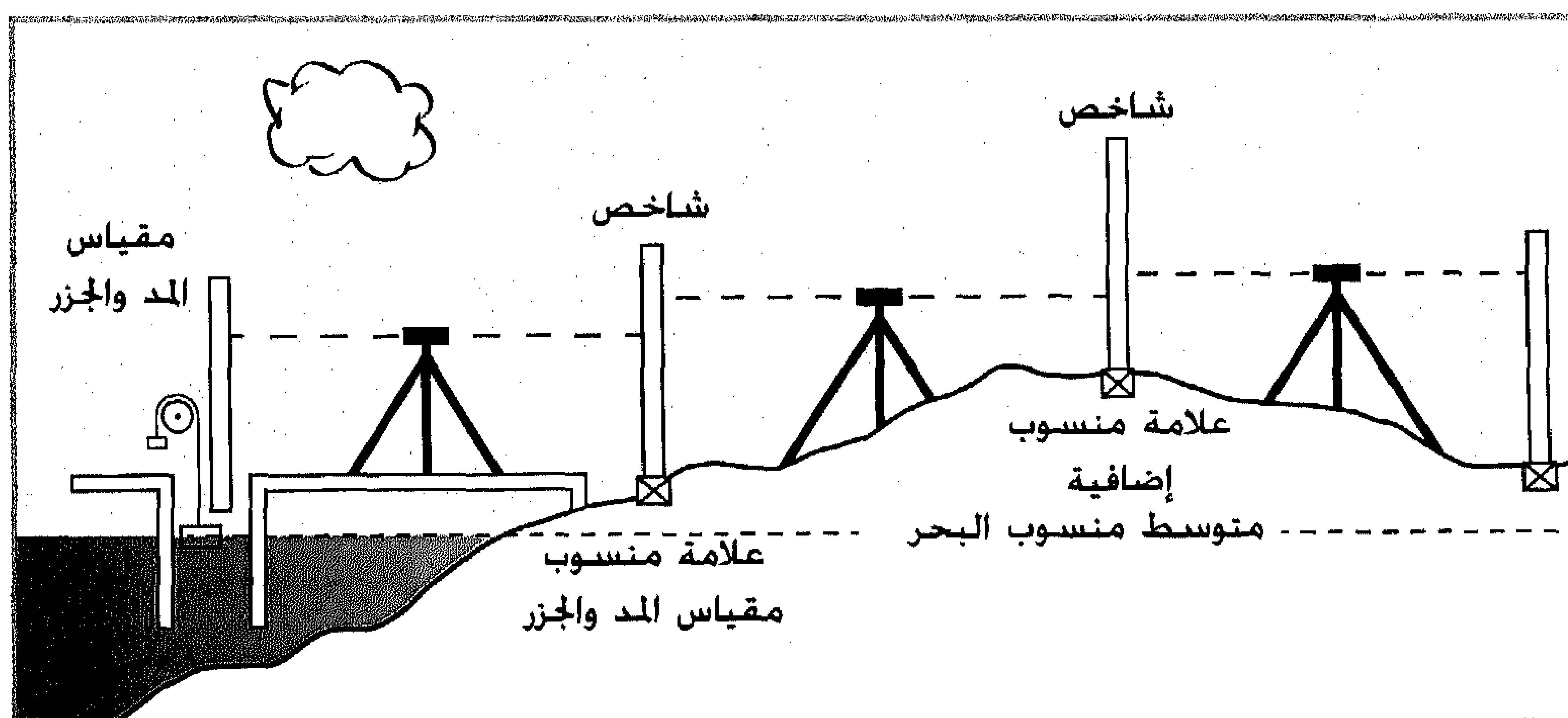
يمثل متوسط القراءات في مقياس المد والجزر متوسط منسوب البحر، ويمكن أن يكون هذا المتوسط بسيطاً أي مساوياً لمتوسط جميع القراءات، أو متوسط القراءات بعد حذف الشاذ منها نتيجة الأمواج وحركة المياه غير الطبيعية.

كما مر معنا، بالإضافة إلى متوسط منسوب البحر تقوم الجهات المختصة بتحديد مجموعة أخرى من المناسيب لها دور مهم في تعريف حدود الملكيات الخاصة والعامة، وحدود المياه الإقليمية والمنطقة الاقتصادية الخالصة وحدود المياه الدولية المبينة في الشكل التالي (UN, 1994):



الشكل 3-38 المراجع الرأسية

تقوم الجهات المختصة بتوزيع شبكة من **علامات المنسوب** (bench marks: B.M.) في مناطق مختلفة من الدولة وتحديد مناسيبها بدقة كبيرة ضمن الشبكة الجيوديسية الوطنية (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية) لتستخدم في تحديد المناسيب في الأعمال المساحية المختلفة التي تتم في جوارها دون الرجوع كل مرة إلى متوسط منسوب البحر.



وكما ذكرنا سابقاً، سطح البحر ليس شكلاً منتظماً، فهو يتأثر بحقل الجاذبية، ولذلك يختلف متوسط منسوب البحر بين دولة وأخرى، ما يعني اختلاف المراجع الرأسية بينها. هذا يفسر لماذا تتوقف خطوط التسوية التي تبين الارتفاعات في الخرائط الطوبوغرافية عند حدود الدولة الواحدة. أكثر من ذلك، تختلف متوسطات منسوب البحر ضمن الدولة الواحدة أيضاً، ولذلك تعتمد نقطة واحدة منها فقط مرجعاً رأسياً.



تقوم هيئة "الخدمات الدائمة لمتوسط منسوب البحر" (Permanent Service for Mean Sea Level: PSMSL) بجمع بيانات متوسط منسوب البحر وتوفير قاعدة بيانات بمواقع وقراءات مقاييس المد والجزر حول العالم ونشر التوصيات والمواصفات القياسية ذات الصلة، ويمكن الاستفادة من هذه المعلومات على موقع الهيئة:

http://www.psmsl.org

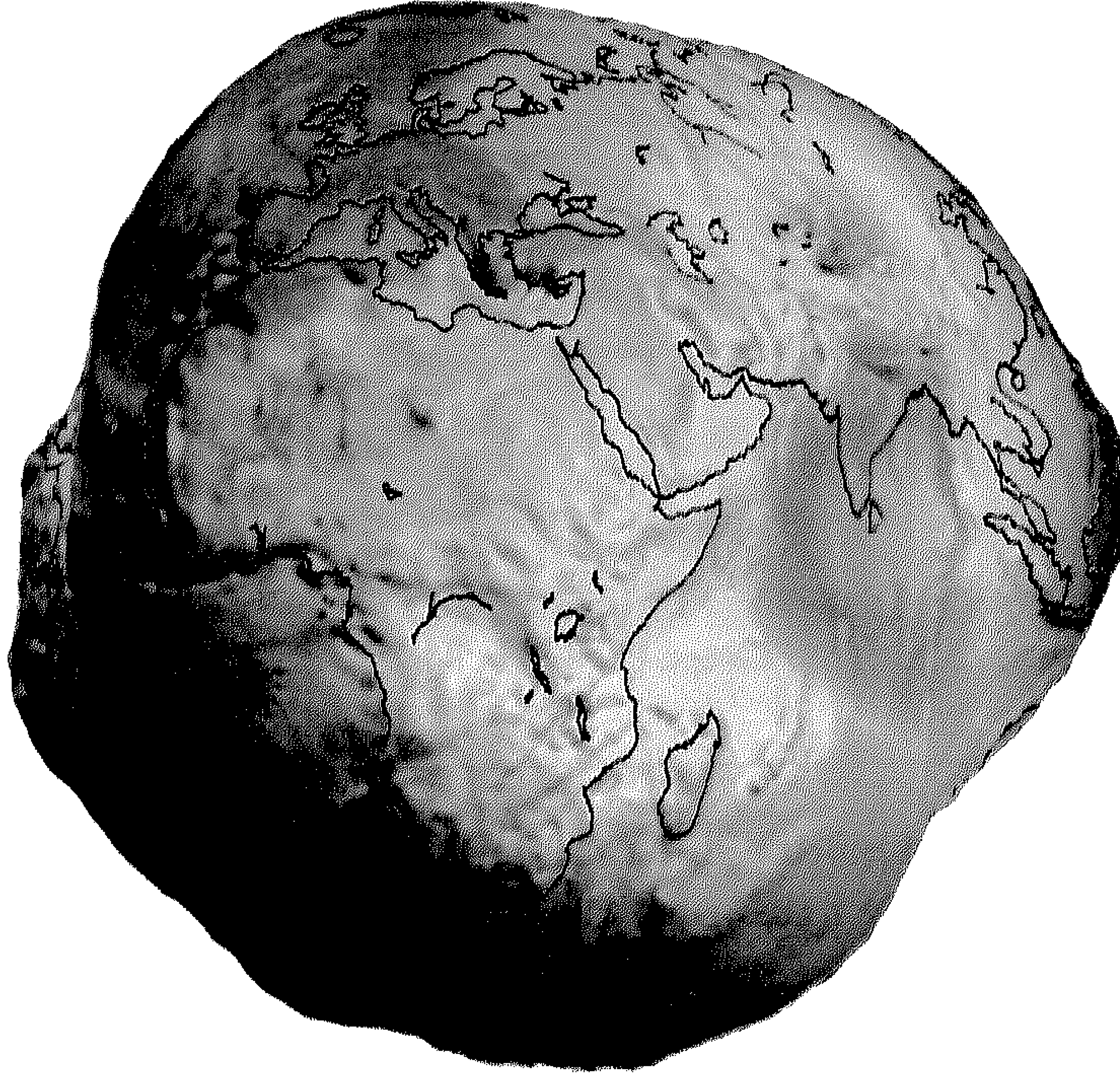
3.4.4. الجيوئيد

كما مر معنا سابقاً، فإن المجسّم الأرضي أو **الجيوئيد** (geoid) يتطابق مع متوسط منسوب البحر في المحيطات، إذا كانت متساوية الكثافة، وفي حالة توازن مطلق، لا تتأثر بالرياح أو المد أو الجزر وخالية من التيارات الخ.

لا يمكن أن يسيل الماء فوق سطح الجيوئيد من منطقة إلى أخرى، فهو **سطح متساوي الكمون** (equi-potential surface) في حقل جاذبية الأرض، ويكون اتجاه الجاذبية عمودياً عليه في أي نقطة منه. معنى هذا أن **المطمار** أو **خيط الشاقول** (plumb line) عمودي دائماً على سطح الجيوئيد، وأن الواقف على قدميه في قارب يبحر فوق سطح الجيوئيد يبقى واقفاً لا يشعر بميول أو انحراف رغم عدم انتظام شكل الجيوئيد.

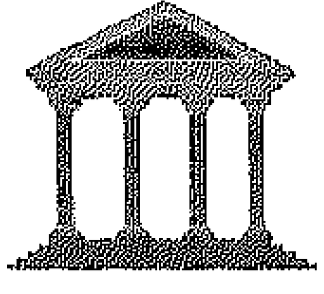
ثمة العديد من السطوح متساوية الكمون، بعضها يوازي بعضاً، وهي تشبه طبقات البصلة، لكن الجيوئيد الذي نتحدث عنه هو ذلك السطح متساوي الكمون الذي يتطابق مع متوسط منسوب البحر لسطح المحيطات.

ولما كان حقل جاذبية الأرض غير متساو من حيث القوة، بل يختلف من منطقة إلى أخرى، حسب اختلاف الكثافة، نتيجة اختلاف توزع سلاسل الجبال، واختلاف توزع الكتل المعدنية الذائبة تحت قشرة الأرض، لن يكون متوسط منسوب البحر بالارتفاع ذاته في كل مكان، بل يختلف من منطقة إلى أخرى، حسب اختلاف قوة الجاذبية فيها.



الشكل 3-40 شذوذ حقل جاذبية الأرض بالملّيجال (عن ناسا)

وفي حين تبلغ أعلى نقطة في السطح الطوبوغرافي للأرض 8848 متر في قمة إفرست، وأدنى نقطة فيه 11030 متر تحت سطح البحر في خندق ماريانا في أعماق المحيط الهادي إلى الشرق من جزر ماريانا الشمالية، فإن الفرق بين أعلى وأدنى نقطة على سطح الجيوئيد لا يتجاوز 200 متر. الجيوئيد إذاً سطح أكثر سلاسة من السطح الطوبوغرافي للأرض، وإن كان غير منتظم. وعند تقريب شكل الجيوئيد إلى مجسّم إهليلجي، سيكون التفاوت بين سطح الجيوئيد وسطح المجسّم الإهليلجي الرياضي المنتظم في حدود 200 متر بحد أقصى، ويسمى هذا التفاوت تموّج الجيوئيد.



القياسات الدقيقة للجيوئيد في المناطق البحرية لها أهمية خاصة بالنسبة لشركات التنقيب عن النفط الذي تستخدم هذه المعلومات لتحليل مجالات الجاذبية في الأحواض البحرية وتستخدم نتائج التحليل لتحديد المواقع المحتملة للنفط تحت قاع البحر.

3.4.4.1. نماذج الجيوئيد العالمية

يُحسب سطح الجيوئيد من خلال تنفيذ مجموعة كبيرة من قياسات حقل الجاذبية وعلى نطاق واسع.

حتى وقت قريب كان "**نموذج جاذبية الأرض للعام 1996**" (Earth Gravitational Model 1996: EGM96) أفضل نماذج جاذبية الأرض، وقد طورته وكالة التصوير والخرائط الوطنية الأمريكية (National Imagery and Mapping Agency: NIMA)، ومركز جودارد للطيران الفضائي (GSFC) في ناسا، وجامعة ولاية أوهايو الأمريكية.

يتميز نموذج EGM96 بدرجة تمثيل تساوي 360، أي قراءة لتموّج الجيوئيد بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 كل 1 درجة من دوائر العرض وخطوط الطول (حوالي 100 كيلومتر).

وفي العام 2008 أصدرت وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية الأمريكية (NGA) نموذجاً جديداً للجاذبية هو EGM2008 يعتمد على قياسات جاذبية أرضية رصدها القمر الاصطناعي GRACE بالإضافة لقياسات جاذبية أرضية لأجزاء كبيرة من العالم. ويُعدّ هذا النموذج ثورة في مجال نمذجة الجيوئيد، إذ تصل درجة تمثيل نموذج EGM2008 إلى 2190، أي قراءة واحدة لتموّج الجيوئيد بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 كل 1/6 درجة (حوالي 16 كلم)، ما يدل بصفة عامة علي أن EGM2008 أكثر دقة وأكثر تفصيلاً من EGM96.

وفي العام 2009 أطلقت وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) القمر الاصطناعي GOCE، لقياس حقل الجاذبية الأرضي المستقر وإنشاء نموذج عالي الدقة لتموّج الجيوئيد بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 من 1 إلى 2 سنتيمتر، وبدأت بنشر نتائج GOCE منذ العام 2010 على موقعها على إنترنت:

http://www.esa.int



يمكن الحصول على بيانات EGM2008 للمنطقة العربية في صيغة شبكة متسامتة (grid) بدقة 2.5 دقيقة، واستخدامها في برنامج ArcGIS مباشرة من الرابط:

http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/GIS/egm08_centcom_geoid.zip

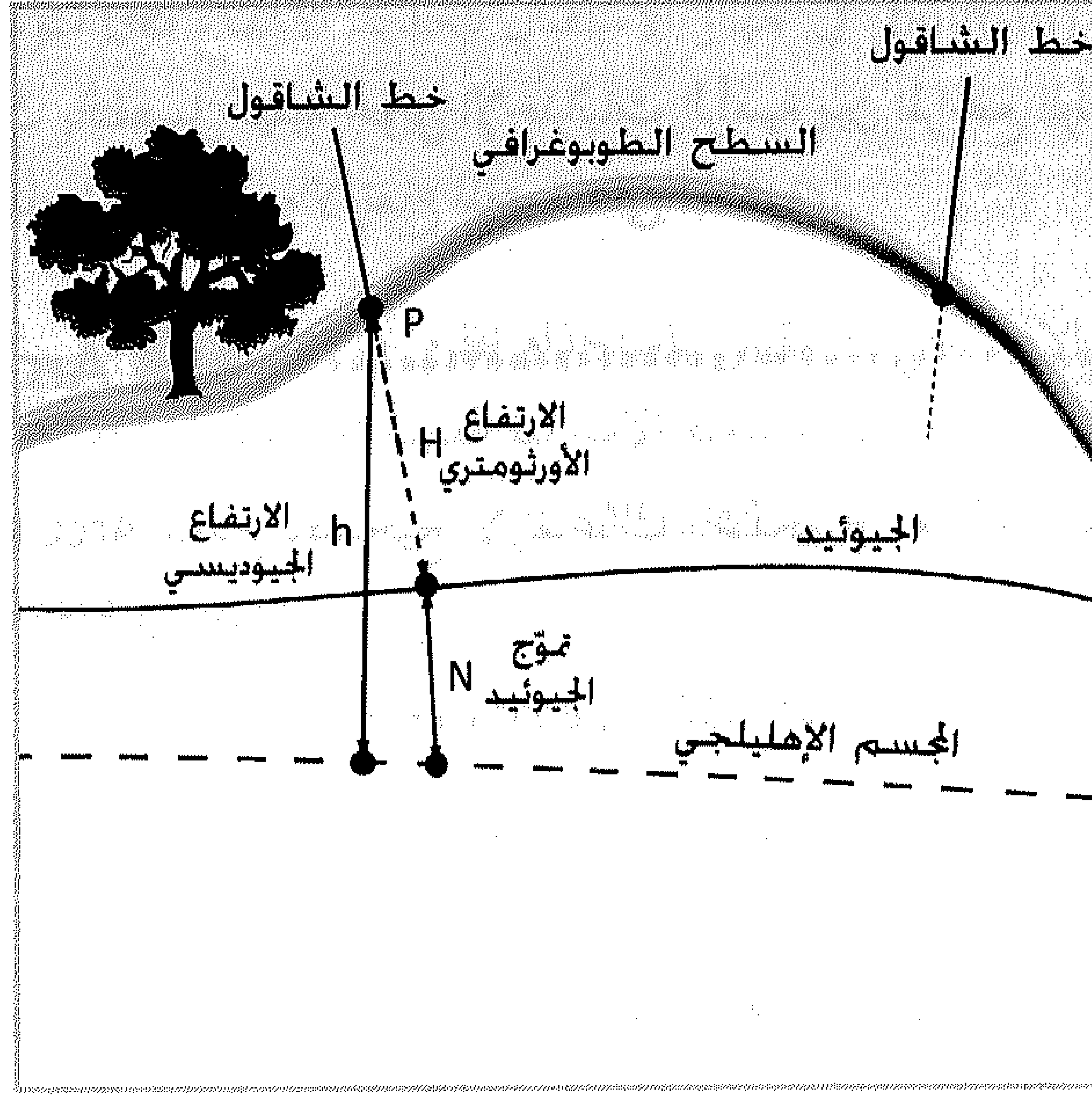


الشكل 3-41 بيانات EGM2008 للمنطقة العربية

يسمى الفرق بين سطح الجيوئيد والمجسّم الإهليلجي المرجعي **تموّج الجيوئيد** (geoid undulation) أو حيود أو تذبذب الجيوئيد، كما يسمى أيضاً **ارتفاع الجيوئيد** (geoid height) أو **فرق الجيوئيد** (geoid separation).

يكون تموّج الجيوئيد موجباً إذا كان سطح الجيوئيد واقعاً إلى الأعلى من المجسّم الإهليلجي، وسالباً إذا كان واقعاً إلى الأسفل منه. وأكثر ما تقوم الجهات المختصة بدراسته تموّج الجيوئيد بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 المستخدم في نظام تحديد المواقع العالمي GPS.

3.4.4.2. تموّج الجيوئيد



الشكل 3-42 تموّج الجيود والارتفاعين الجيوديسي والأورثومتري

كما مر معنا، يعرف الارتفاع الأورثومتري لنقطة P بأنه المسافة H على خط الشاقول التي تصل النقطة P بسطح الجيوئيد أو متوسط منسوب البحر، ويعرف الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الإهليلجي بأنه المسافة h من النقطة على الناظم إلى سطح المجسّم الإهليلجي.

ويمكن حساب الفرق بين الارتفاع الإهليلجي h والارتفاع الأورثومتري H بمعادلة **تصحيح الارتفاع** (height correction):

$$H = h - N$$

حيث N تموّج الجيوئيد، وتختلف N اعتماداً على خطوط الطول والعرض، وهي قيمة معقّدة نظراً لأن الجيوئيد سطح معقّد، ويسمى جدول البحث لقيمة N لأي خط عرض وطول لنقطة معينة **نموذج الجيوئيد** (geoid model)، ما يعني أن التحويل بين الارتفاعين الإهليلجي والأورثومتري يتطلب تطوير هذا النموذج أولاً.

تشير هذه المعادلة أيضاً إلى أنه إذا توفرت في منطقة ما نماذج مختلفة للجيوئيد فإن الارتفاع الأورثومتري لنقطة سيكون مختلفاً باختلاف هذه النماذج، حتى لو كان الارتفاع الإهليلجي المقيس

في نظام GPS ثابتاً ودقيقاً. ولذلك يجب عند استخدام بيانات الارتفاع الأورثومتري التأكد من نموذج الجيوئيد المستخدم في حسابها.

يشرح الفصل الثالث بالتفصيل كيفية تحويل الإحداثيات الرأسية بين المراجع الرأسية المختلفة (انظر 5.2.3.1 بين الارتفاع الجيوديسي والارتفاع المعتمد على الجاذبية).

ArcGIS

يتوفر في برنامج ArcGIS نموذج لتصحيح الارتفاعات باستخدام المعادلة أعلاه بالاعتماد على نموذج الجيوئيد EGM96 في المجلد:

C:\Program Files\ArcGIS\Desktop10.0\pedata\geoid

لعرض الارتفاع الأورثومتري في Google Earth في شريط الحالة (status bar)، تأكد من تمكين الطبقة Terrain في القائمة الجانبية Layers.

يمكنك أيضاً انتقاء وحدة قياس الارتفاعات بين المتر والكيلومتر أو القدم والميل من القائمة:

Tools > Options... > 3D View > Units of Measurement

لاحظ أن الارتفاعات الأورثومترية في Google Earth مصدر ممتاز للمعلومات وبخاصة عندما لا تتوفر لديك مصادر أخرى، ولكن لضمان الدقة يجب الحصول على معلومات الارتفاع الأورثومتري من الخرائط المساحية أو من الجهة المختصة في منطقتك أو باستخدام القياسات المساحية.



تقدم العديد من المواقع خدمة فورية لحساب تموّج الجيوئيد لأي نقطة (φ, λ) بالاعتماد على نماذج الجيوئيد العالمية وباستخدام طرق الاستكمال الداخلي، ويطلق على هذه الخدمة **حاسبة الجيوئيد** (geoid calculator) ويمكنك العثور على العديد من هذه الخدمات على إنترنت. ومن الأمثلة على ذلك حاسبة الجيوئيد EGM96 التي توفرها وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية (NGA) على موقعها:

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/intpt.html

يمثل حساب عامل التموّج تحدياً رياضياً، ولذلك تأتي أجهزة استقبال نظام تحديد المواقع العالمي مع جداول تموّج **مبنيّة** (built-in) في جهاز الاستقبال لتحديد الارتفاع فوق متوسط منسوب البحر بالنيابة عن المستخدم.

مشروع:

يراد تحويل الارتفاع الإهليلجي h المقيس باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي للنقطة في واحة ليوا (Liwa Oasis) في المنطقة الغربية بدولة الإمارات العربية المتحدة إلى ارتفاع أورثومتري H. علماً بأن إحداثيات النقطة (φ, λ, h) في WGS 84:

$$\varphi = 23°8'2.34N,\ \lambda = 53°47'55.55E,\ \ h = 106.82\, m$$

الحل:

باستخدام حاسبة الجيوئيد المتوفرة في موقع وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية (NGA) مثلاً، نجد تموّج الجيوئيد في النقطة المذكورة 33.18- م، أي إن الجيوئيد يقع تحت سطح المجسّم الإهليلجي، ومن العلاقة السابقة:

$$H = 106.82 - (-33.18) = 140\, m$$

.3.4.4.3 الجيوئيد المحلي

كما مر معنا فإن نماذج الجيوئيد العالمية توفر قراءات لتموج الجيوئيد على مسافات فاصلة لا توفر الدقة المطلوبة لمعظم المشروعات الهندسية على الرغم من دقة هذه النماذج، ولا سيما EGM96 وEGM2008، إذ تحتاج هيئات المساحة في كل دولة إلى تطوير نموذج جيوئيد محلي يكون أكثر دقة وتفصيلاً لتحويل الارتفاعات الإهليلجية التي يزودنا بها نظام GPS إلى ارتفاعات أورثومترية، وبخاصة مع انتشار تطبيقات النظام العالمي لتحديد المواقع في مشروعات المساحة والخرائط عالمياً.

تشير المعادلة السابقة إلى ضرورة معرفة تموّج الجيوئيد N في النقطة التي يقاس ارتفاعها بنظام تحديد المواقع (الارتفاع الجيوديسي)، وذلك لتحويله إلى ارتفاع أورثومتري، وبعبارة أخرى تشير هذه المعادلة إلى ضرورة توفير **نموذج محلي للجيوئيد** (local geoid) في المنطقة لكي نتمكن من تحويل الارتفاعات الإهليلجية المقيسة من نظام GPS إلى ارتفاعات أورثومترية بدقة تناسب متطلبات معظم المشروعات، حيث يتم تطوير نموذج جيوئيد محلي باستخدام أساليب مختلفة منها الطريقة الهندسية وطريقة أرصاد الجاذبية.



تستخدم بعض المراجع مصطلح الجيوئيد المحلي للدلالة على متوسط منسوب البحر، وذلك تمييزاً عن الجيوئيد الحقيقي الذي يمكن أن يصل الفرق بين سطحه ومتوسط منسوب البحر المحلي في بعض المناطق من العالم إلى مترين. لكن مصطلح الجيوئيد المحلي يستعمل في أغلب الأحيان للدلالة على ذلك النموذج الذي يكون أكثر تفصيلاً ودقة من نماذج الجيوئيد العالمية، ويتم تطويره بتركيب وتكثيف شبكات قياس الجاذبية في منطقة ما لخدمة التطبيقات الجيوديسية.

3.4.4.3.1. حساب الجيوئيد المحلي بالطريقة الهندسية

في **الطريقة الهندسية** (geometric method) تتم مقارنة الارتفاعات الإهليلجية h من نظام GPS في نقاط معلوم ارتفاعها الأورثومتري H عن متوسط منسوب البحر وتستخدم علاقة تموّج الجيوئيد لإيجاد قيمة تموّج الجيوئيد N في تلك النقاط، ومن ثم استنتاج قيم التموّج لكامل المنطقة بأساليب مثل **الاستكمال الداخلي** (interpolation) شريطة أن تكون المنطقة صغيرة وأن يتوفر فيها عدد مناسب من هذه النقاط موزعة بصورة مناسبة.

تتوفر في معظم الدول شبكة جيوديسية وطنية (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية) وتحتوي هذه الشبكات على علامات منسوب تم قياس ارتفاعها فوق متوسط منسوب البحر. ويمكن بقياس الارتفاع الإهليلجي في هذه النقاط استنتاج نموذج محلي تقريبي للجيوئيد. ويسمى هذا النوع من النماذج **تموّج الجيوئيد بالنسبة إلى نظام تحديد المواقع العالمي/التسوية** (GPS/levelling geoid undulation).

من ناحية أخرى، يمكننا تقييم دقة نموذج جيوئيد معين في منطقة ما، بمقارنة قيم التموّج التي يوفرها هذا النموذج مع قيم دقيقة للتموّج نحصل عليها من طرق أخرى، ثم تقييم دقة النموذج من متوسط الأخطاء والانحراف المعياري.

3.4.4.3.2. حساب الجيوئيد المحلي باستخدام أرصاد الجاذبية

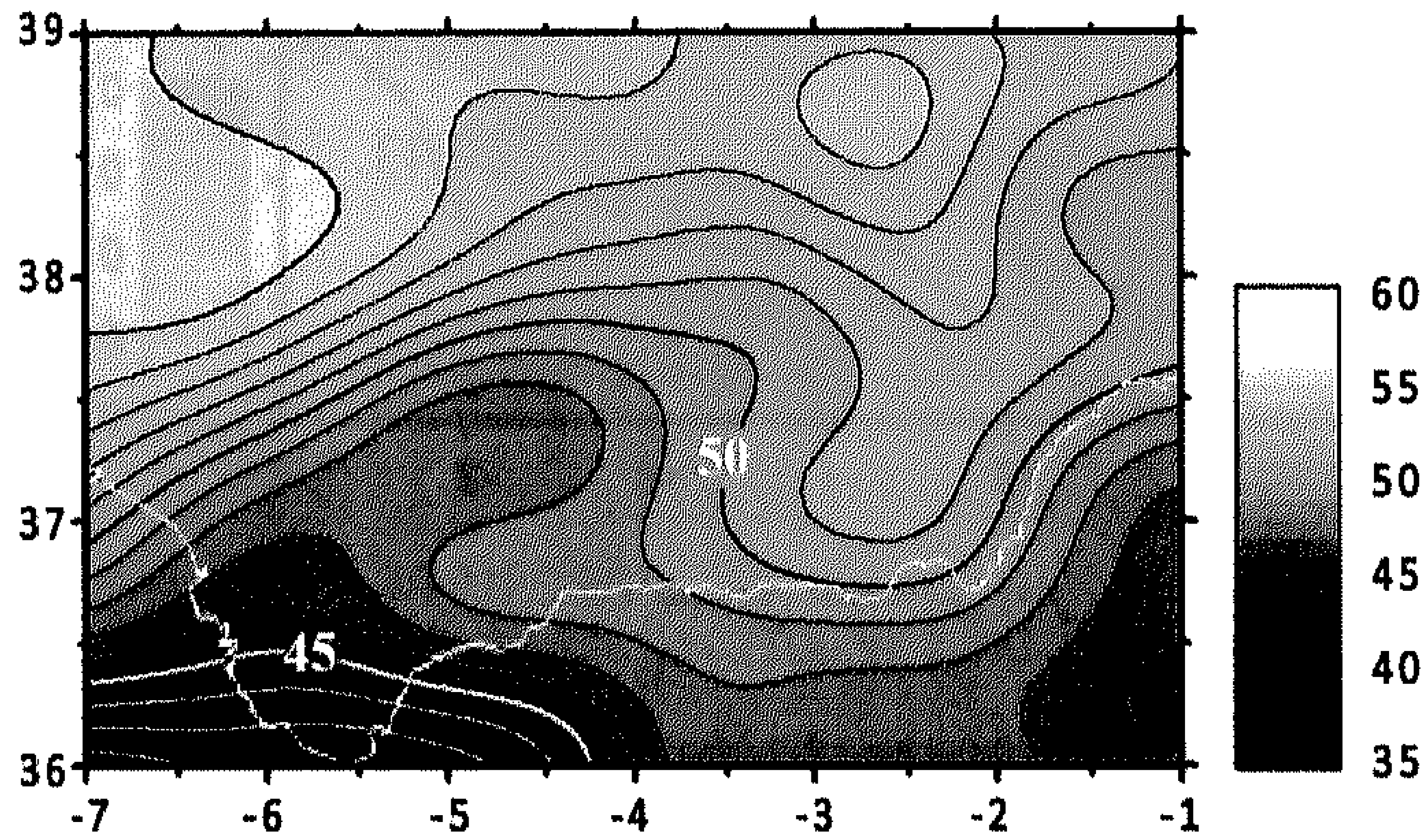
تقوم الجهات المختصة بتنفيذ أرصاد الجاذبية ومعالجة نتائجها للحصول على نموذج الجيوئيد المحلي، وتقع تفاصيل ذلك خارج نطاق هذا الكتاب، لكن بصورة مبسطة يُحسب تموّج الجيوئيد من المعادلة (Sideris, 1994):

$$N = N_{GM} + N_{\Delta g} + N_T$$

حيث N_{GM} تموّج الجيوئيد حسب نماذج الجيوئيد العالمية، و$N_{\Delta g}$ تأثير **شذوذ الجاذبية** (gravity anomaly) ويُحسب باستخدام تكامل Stokes (شذوذ الجاذبية هو الفرق بين قيمة الجاذبية النظرية والقيمة المقيسة باستخدام **مقياس الجاذبية** (gravimeter))، وN_T التأثير غير المباشر لكتلة التضاريس ويتطلب توفر **نموذج تضاريس رقمي** (digital terrain model: DTM) ومعرفة بكثافة القشرة في منطقة الدراسة.

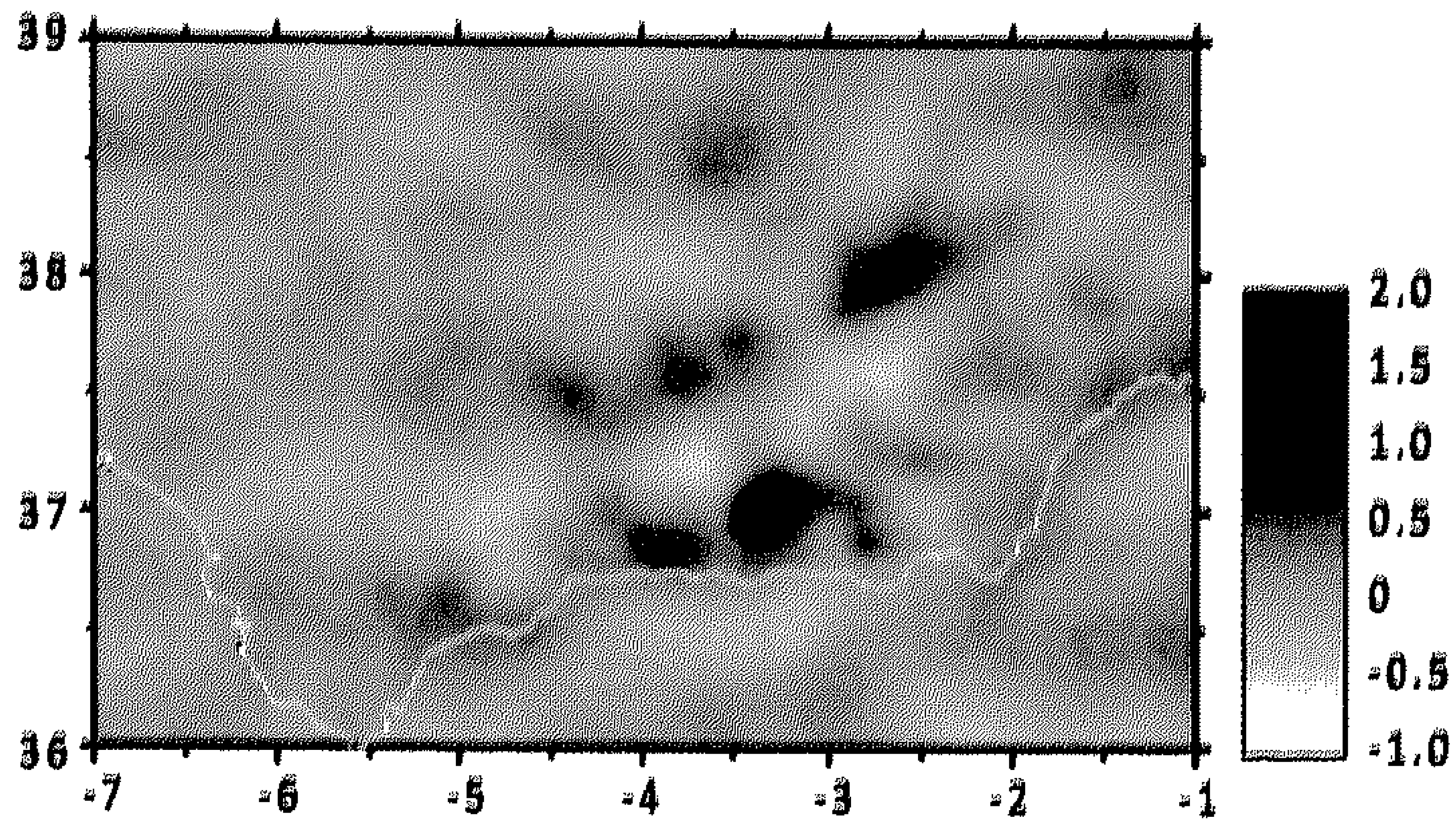
الأشكال التالية منقولة عن دراسة لحساب نموذج جيوئيد محلي بدقة عالية في الأندلس (Andalusia) بجنوب إسبانيا نشرها Francisco Manzano وVictor Corchete و Gil Manzano من جامعة Almeria وميمون شوراق من جامعة مولاي إسماعيل.

اعتمدت هذه الدراسة على بيانات من جهات مختلفة، منها أرصاد الجاذبية في 18621 نقطة منها 8441 نقطة في المنطقة البحرية، ونموذج حقل الجاذبية EIGEN-GL04C، بالإضافة إلى نموذج تضاريس رقمي، ونموذج جيوئيد محلي تقريبي مستنتج من بيانات الارتفاع فوق سطح البحر (انظر 3.4.4.3.1 حساب الجيوئيد المحلي بالطريقة الهندسية).

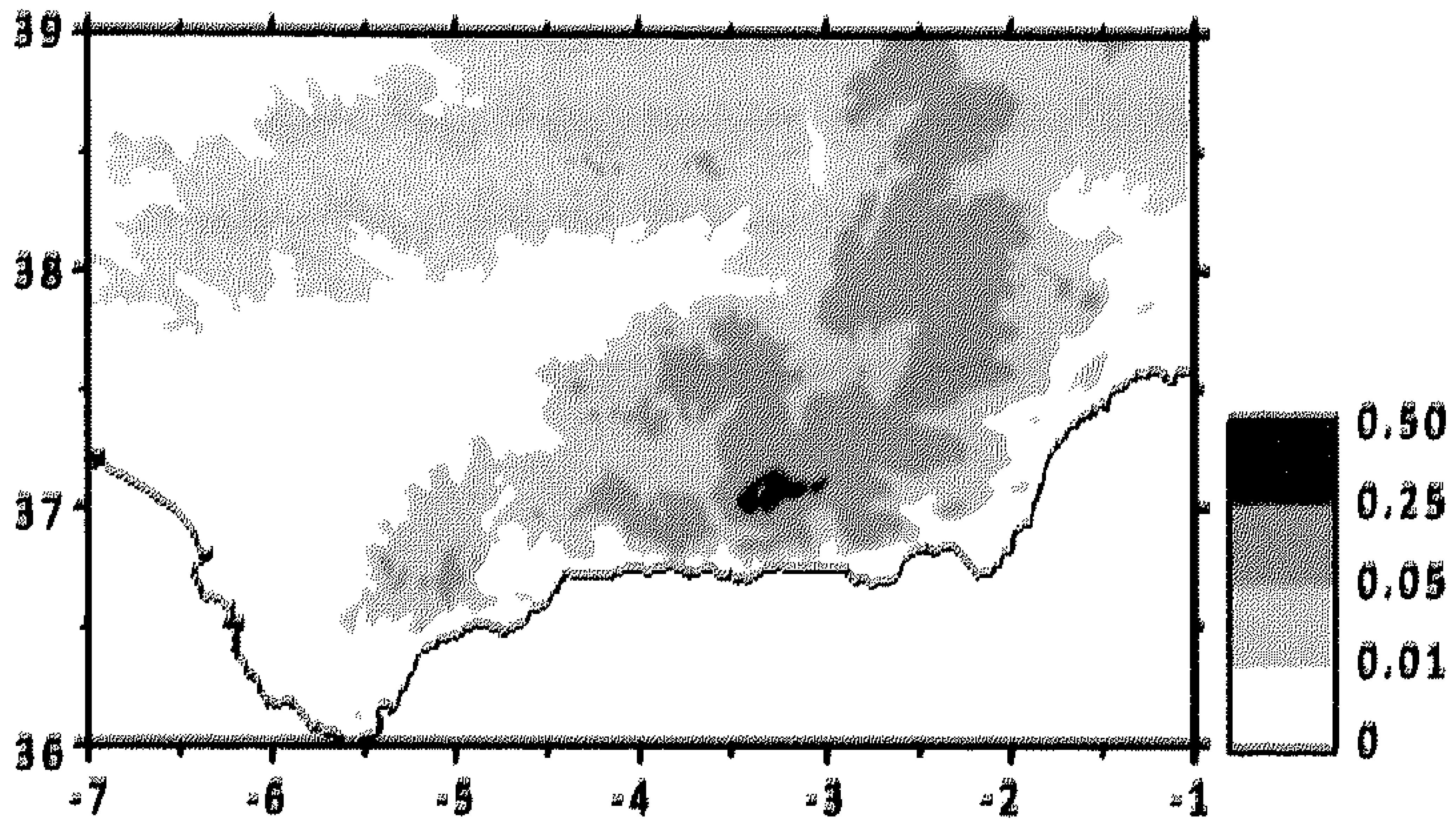


الشكل 3-43 تموّج الجيوئيد حسب نماذج الجيوئيد العالمية (متر)

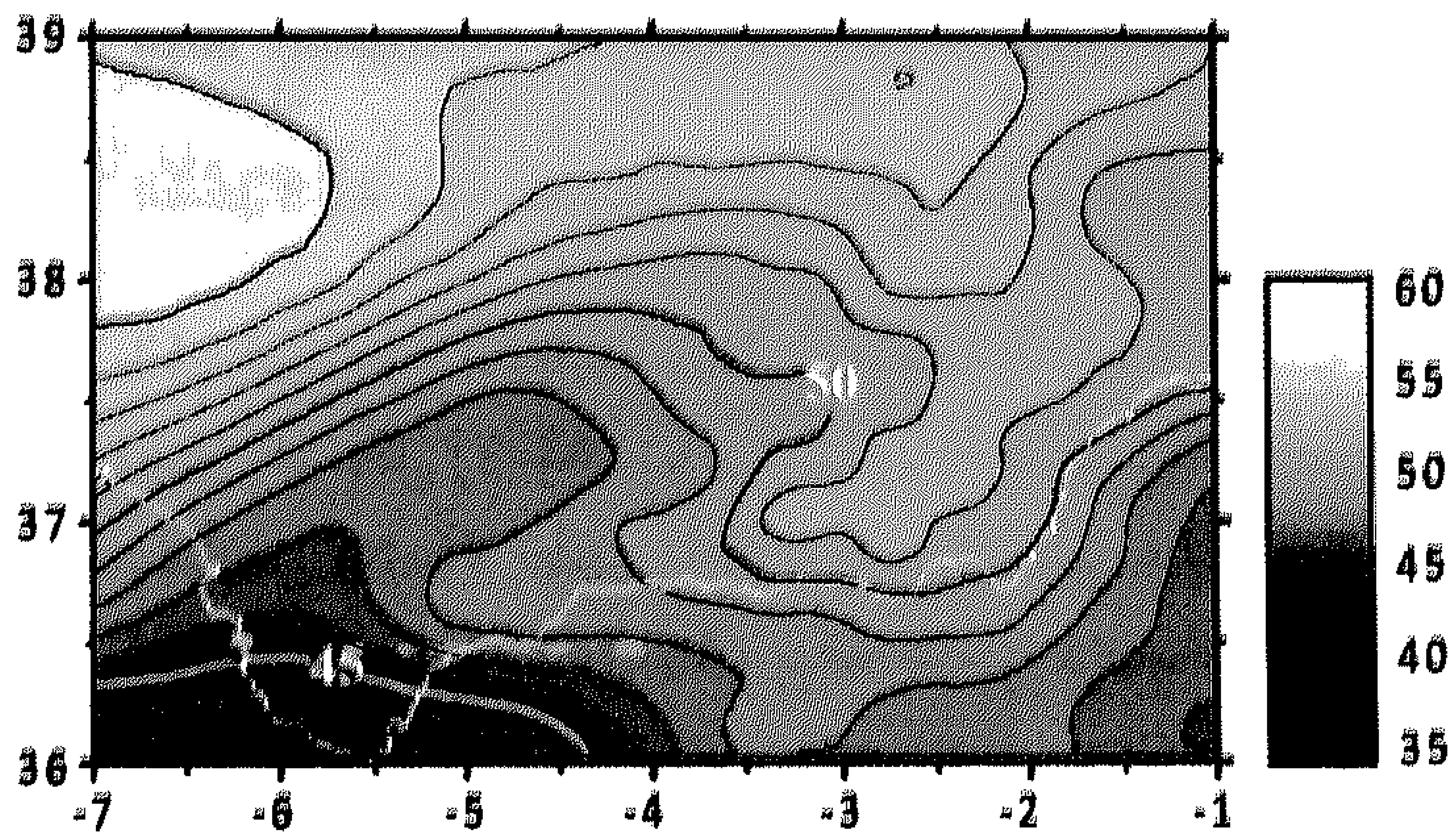
يوضح الشكل (3-43) قيم تموّج الجيوئيد N_{GM} في منطقة الدراسة بالنسبة إلى نموذج الجيوئيد EIGEN-GL04C، ويبين الشكل (3-44) تأثير شذوذ الجاذبية $N_{\Delta g}$، بينما يتضمن الشكل (3-45) تصحيح التضاريس N_T. وتم تطبيق المعادلة السابقة على هذه النتائج لحساب قيمة N وتوليد نموذج محلي للجيوئيد في الشكل (3-46) بدقة مناسبة لمتطلبات المشروعات الهندسية في منطقة الدراسة (Determination of a Gravimetric Geoid Solution for Andalusia (South Spain), 2010).



الشكل 3-44 تأثير شذوذ الجاذبية (متر)



الشكل 3-45 تصحيح التضاريس (متر)



الشكل 3-46 النموذج المحلي لتموّج الجيوئيد (متر)

3.4.4.4. شبه الجيوئيد

يتطلب تطوير نموذج محلي للجيوئيد في منطقة باستخدام أرصاد الجاذبية تصحيح هذه القياسات من خلال معرفة كثافة القشرة في تلك المنطقة.

بدلاً من ذلك، يمكن استخدام أساليب تعمل بطريقة مستقلة عن كثافة القشرة في منطقة الدراسة، لكننا نحصل بدلاً من الجيوئيد على **شبه الجيوئيد** (quasi-geoid).

شبه الجيوئيد، إذاً، هو تمثيل لمتوسط منسوب البحر مشابه للجيوئيد وعلى مقربة منه، ولذلك تستخدم بعض الجهات شبه الجيوئيد لأسباب عملية بدلاً من الجيوئيد نظراً للفرق الصغير بينهما.

3.4.5. النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية في برامج نظام المعلومات الجغرافية

كما ذكرنا في بحث النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية، يتوفر في معظم برامج نظام المعلومات الجغرافية ونظام تحديد المواقع العالمي والمساحة مكتبة مبنية من الأنظمة المرجعية للإحداثيات، ومنها الرأسية، وتقوم الشركات المطورة للبرمجيات بتضمين قاعدة البيانات هذه في برمجياتهم، كما تواظب على تحديثها مع إضافة أية أنظمة جديدة في قاعدة بيانات EPSG.

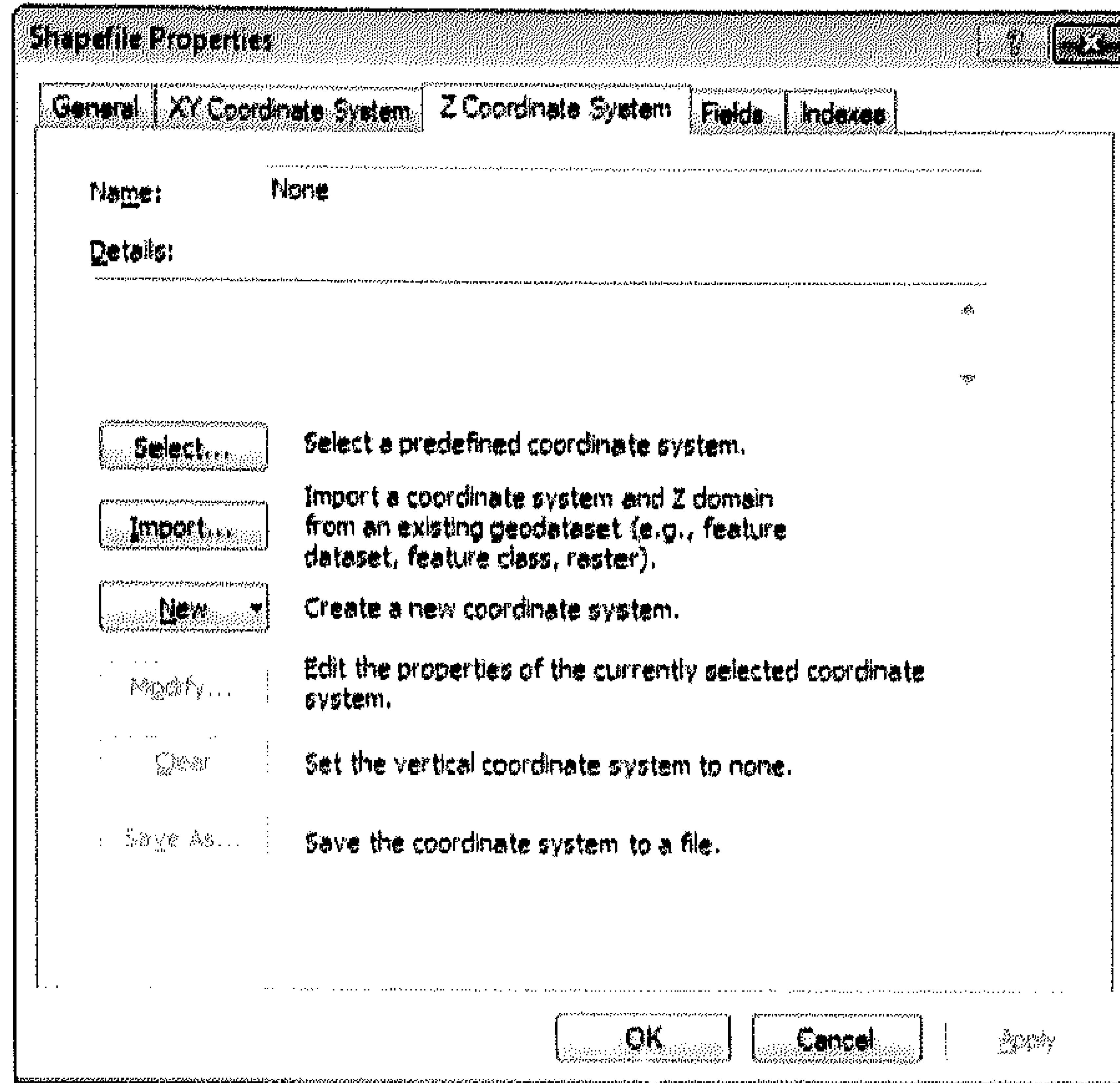
3.4.5.1. إعداد بيئة العمل

3.4.5.1.1. انتقاء نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية

عند استيراد أو العمل مع بيانات ثلاثية الأبعاد، مثل النقاط التي لها قيمة Z بالإضافة إلى X وY، في برامج نظام المعلومات الجغرافية يكون من الضروري تحديد النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية الذي قيست هذه القيم بالنسبة إليه.



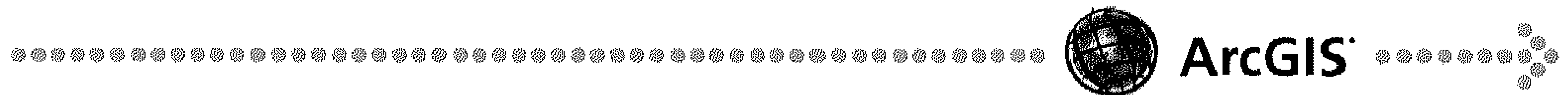
إذا كانت البيانات ثلاثية الأبعاد يمكن تعيين النظام المرجعي لإحداثياتها الرأسية في ArcCatalog بالوصول إلى خصائص تلك البيانات بالنقر فوق موقع البيانات المكانية في ArcCatalog وانتقاء Properties والانتقال إلى لسان التبويب Z Coordinate System، حيث يمكن انتقاء النظام المرجعي من المكتبة المتوفرة في البرنامج بالنقر فوق الزر Select.



الشكل 3-47 تعيين النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية للبيانات في ArcCatalog

ملاحظة: إذا كانت البيانات ثنائية الأبعاد فإن لسان التبويب Z Coordinate System لن يكون متوفراً في صندوق حوار خصائص البيانات المكانية السابق.

3.4.5.1.2. إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية



في صندوق الحوار السابق إذا لم يكن النظام المطلوب موجوداً يمكن النقر فوق الزر New لإنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات الرأسية مبني على أحد نماذج الجيوئيد (ارتفاعات أورثومترية) أو على المجسّم الإهليلجي (ارتفاعات إهليلجية).



يتطلب إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية في Oracle Spatial معرّف نظام إحداثيات وحيد المحاور وكذلك معرّف مرجع رأسي.

من الجدول MDSYS. SDO_COORD_SYS نجد معرّف نظام الإحداثيات الرأسية الذي يعتمد العمق ويستخدم المتر وحدة للقياس:

6498

من الجدول MDSYS. SDO_DATUMS نجد معرّف المرجع الرأسي Fahud Height Datum المستخدم في شركة تنمية نفط عُمان (Petroleum Development Oman):

5124

الآن يمكننا إنشاء النظام المرجعي الجديد كما يلي:

```
INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_REF_SYSTEM (SRID, COORD_REF_SYS_NAME,
COORD_REF_SYS_KIND, COORD_SYS_ID, DATUM_ID, SOURCE_GEOG_SRID,
PROJECTION_CONV_ID, CMPD_HORIZ_SRID, CMPD_VERT_SRID, INFORMATION_SOURCE,
DATA_SOURCE, IS_LEGACY, LEGACY_CODE, LEGACY_WKTEXT, LEGACY_CS_BOUNDS)
VALUES (9999999, 'Fahud Height Datum / Depth (m)', 'VERTICAL', 6498, 5124, NULL, NULL,
NULL, NULL, NULL, 'Myself', 'FALSE', NULL, NULL, NULL);
```

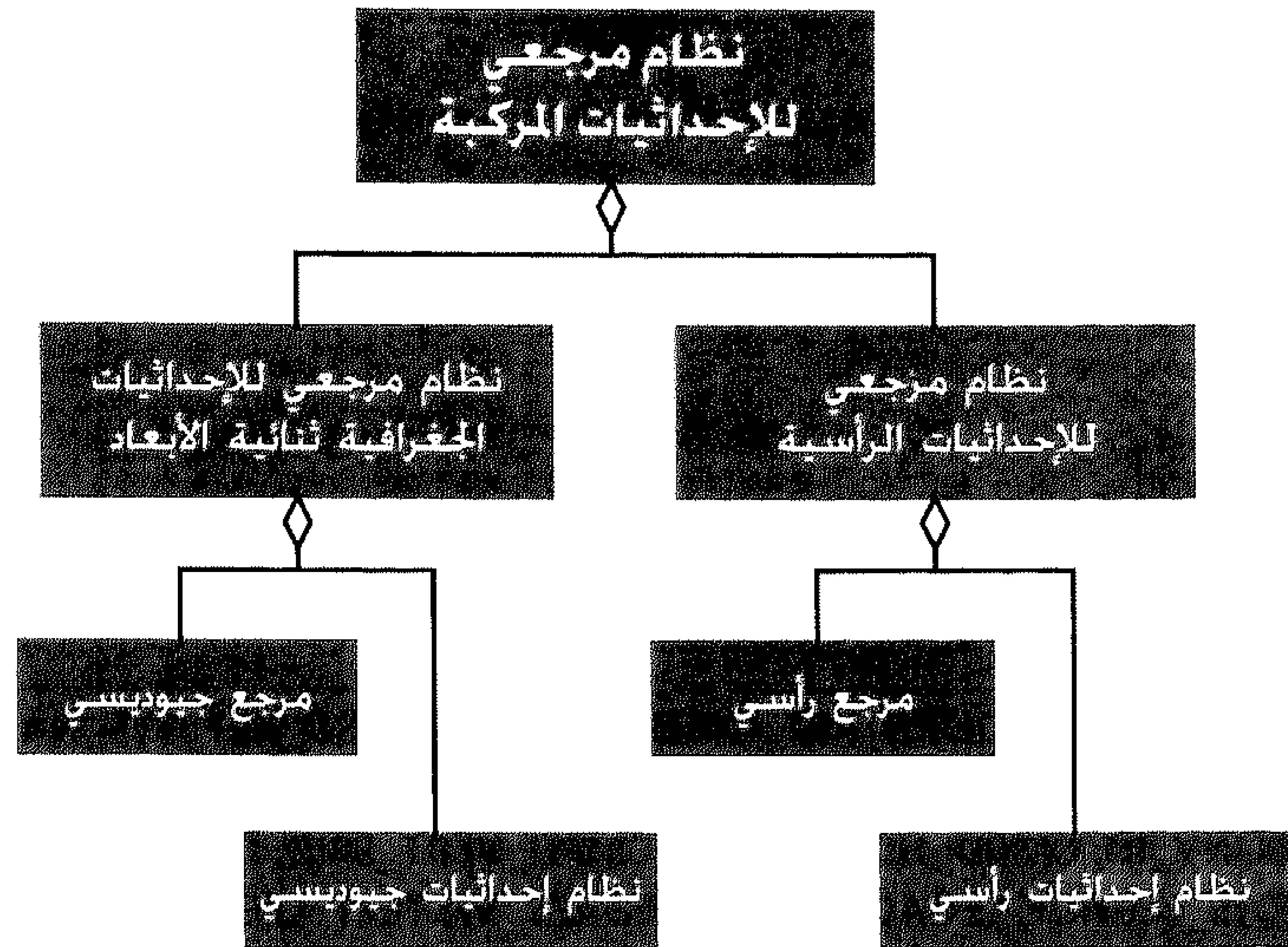
3.4.5.2. تحويل الإحداثيات الرأسية

يُعدّ تحويل الإحداثيات الرأسية بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات من المتطلبات المهمة لمستخدمي نظام المعلومات الجغرافية وذلك لأهمية بيانات الارتفاعات والعمق في معظم المشروعات. تناولنا طريقة تصحيح الارتفاع في بحث تموّج الجيوئيد وسنتناول بالتفصيل عملية تحويل الإحداثيات الرأسية بين نظامين مرجعيين للإحداثيات الرأسية في فصل العمليات على الإحداثيات (انظر 5.2 تحويل الإحداثيات).

3.5. النظام المرجعي للإحداثيات المركبة

يصف **النظام المرجعي للإحداثيات المركّبة** (compound coordinate reference system: CCRS) موقع النقاط أفقياً باستخدام نظام إحداثيات مرجعي، ورأسياً من خلال نظام إحداثيات مرجعي آخر، ويمكن إضافة البعد الرابع من خلال إضافة نظام مرجعي ثالث يكون مرجعاً للإحداثيات الزمانية. المثال التالي يوضح مكونات النظام المرجعي للإحداثيات المركّبة.

الارتفاعات المبيّنة في الخرائط مقيسة في معظم الأحيان على سطح الجيوئيد أو متوسط منسوب البحر المحلي، لكن زوايا العرض والطول في الخريطة جيوديسية مقيسة على المجسّم الإهليلجي، أو شرقيات وشماليات باستخدام النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة (إسقاط الخريطة) الذي تناولناه في البحث السابق هذا يعني أن الخريطة تعتمد نظاماً مرجعياً لإحداثيات مركبة.



الشكل 3-48 النظام المرجعي للإحداثيات المركبة

يشار إلى النظام المرجعي للإحداثيات المركّبة في **النص المعروف** (WKT) اختصاراً بـ COMPD_CS، ويوضح المثال التالي النظام المرجعي للإحداثيات المركبة المسمى PSHD93 والمستخدم في عُمان:

```
COMPD_CS["PSHD93",
  GEOGCS["PDO Survey Datum 1993",
    DATUM["PDO Survey Datum 1993",
      SPHEROID["Clarke 1880 (RGS)",6378249.145,293.465,
        AUTHORITY["EPSG","7012"]],
      TOWGS84[-191.808,-250.512,167.861,-0.792,-1.653,8.558,4.270300283733636],
      AUTHORITY["EPSG","6134"]],
    PRIMEM["Greenwich",0.0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",0.017453292519943295],
    AXIS["Geodetic latitude",NORTH],
    AXIS["Geodetic longitude",EAST],
    AUTHORITY["EPSG","4134"]],
  VERT_CS["PDO Height Datum 1993",
    VERT_DATUM["PDO Height Datum 1993",2005,
      AUTHORITY["EPSG","5123"]],
    UNIT["m",1.0],
    AXIS["Gravity-related height",UP],
    AUTHORITY["EPSG","5724"]],
  AUTHORITY["EPSG","7410"]]
```

توصف المواقع الأفقية في هذا النظام المركب بنظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية هو PDO Survey Datum 1993، بينما تُوصَف المواقع الرأسية باستخدام نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية هو PDO Height Datum 1993.

3.6. الشبكة الجيوديسية الوطنية

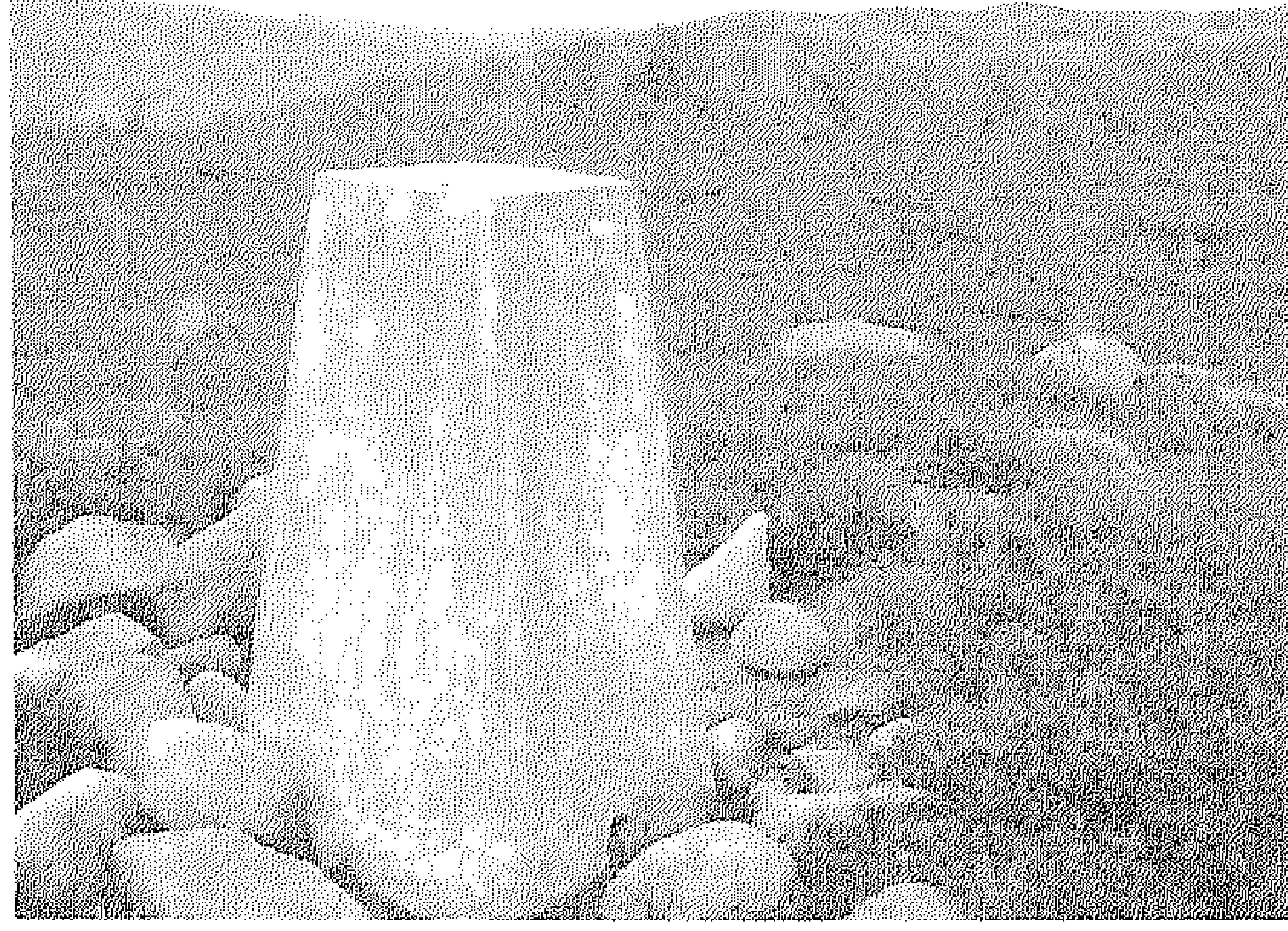
نظام الإحداثيات المرجعي هو مفهوم رياضي لا يمكن قياس الإحداثيات عليه مباشرة، فخطوط الطول والعرض مثلاً ليس مرسومة على سطح الأرض بحيث يمكن الانطلاق منها لقياس إحداثيات النقاط الأخرى، كما أن معظم المشروعات بعيدة جداً عن البحر ما يجعل من قياس الارتفاعات فيها مهمة مستحيلة.

من أجل ذلك، تقوم الجهة المختصة (البلدية أو هيئة المساحة الخ) ببناء شبكة من النقاط معلومة الإحداثيات تغطي أرجاء الدولة تسمى **الشبكة الجيوديسية الوطنية** (national geodetic network: NGN)، وتسمح هذه الشبكة بتوفير نقاط معلومة الإحداثيات يمكن الرجوع إليها مباشرة لتحديد إحداثيات وارتفاع النقاط الأخرى المجاورة التي تتطلبها الأعمال المساحية وإنتاج الخرائط الطوبوغرافية والجيولوجية ومشروعات الخدمات في المؤسسات الحكومية والخاصة.

الشبكة الجيوديسية إذاً تمثيل فيزيائي أو **تحقيق** (realization) للمرجع الجيوديسي أو نظام الإحداثيات المرجعي، وهي **إطار مرجعي أرضي** (terrestrial reference frame: TRF) يتألف من نقاط مرجعية معلومة الإحداثيات يمكن رؤيتها وقياس إحداثيات مجهولة انطلاقاً منها.

تتألف هذه الشبكة من **نقاط التحكم** أو **المحطات** (control points or stations) **المنصوبة** (monumented) أي المبنية في الأرض أو المثبتة في جدران المباني، ويمكن تصنيف نقاط الشبكة إلى نوعين رئيسين:

- نقاط تحكم أفقية أو **علامات تحكم** (control marks) ويكون لها إحداثيات أفقية مقيسة بدقة عالية على المرجع الجيوديسي (الأفقي) المعتمد في نظام الإحداثيات المرجعي، وغالباً ما تشكل هذه النقاط شبكة من المثلثات غير المنتظمة.
- نقاط تحكم رأسية أو **علامات منسوب** (bench marks: BM) تبين ارتفاع النقطة فوق متوسط منسوب البحر (انظر 3.4.2 متوسط منسوب البحر). يتم إنشاء هذه النقاط على طول خطوط تسمى **مسارات التسوية** (level routes).



الشكل 3-49 علامة تحكم رئيسية من شبكة جيوديسية بريطانية (عن Peter Aikman)

بالإضافة إلى هذين النوعين الرئيسيين ثمة أنواع ثانوية من النقاط، منها **محطات الجاذبية** (gravity stations) و**علامات السمت** (azimuth marks)، الخ.

تسمى نقطة التحكم الأفقية — من ناحية أخرى - إما **محطة تثليث** (triangulation station) أو **محطة تضليع** (traverse station)، وذلك حسب الطرق المساحية المستخدمة في إنشائها.

توفر الجهات المختصة أسماء ورموز وإحداثيات نقاط الشبكة الجيوديسية الوطنية، بالإضافة إلى **ما وراء البيانات** (metadata) لكل نقطة مثل دقة موقع النقطة وحالتها الراهنة، كما تقوم هذه الجهات بصيانة نقاط الشبكة الجيوديسية الوطنية بصورة دورية، حيث تتعرض النقاط إلى تدمير أحياناً نتيجة التطوير وتوسع العمران. كما تقوم هذه الجهات بتكثيف الشبكة من خلال إضافة نقاط تحكم ثانوية بين نقاط التحكم الرئيسية باستخدام أساليب المساحة الأرضية.

يفترض أن تكون الشبكة الجيوديسية الوطنية عالية الدقة وذلك لضمان ربط الخرائط والمشروعات وكافة المعالم على المستوى الوطني، لكن معظم الشبكات الجيوديسية الوطنية القديمة تعاني من خطأ نسبي مرتفع لأنها بنيت خلال فترة طويلة بطرق التثليث والتضليع وباستخدام أجهزة تقليدية مثل **المِزواة أي التيودوليت** (theodolite)، كما أن دقة الأعمال المساحية فيها تختلف من جزء لآخر، مقارنة بما وصلت إليه تقنيات هذه الأيام من الدقة وخصوصاً نظام تحديد المواقع العالمي.



الشكل 3-50 علامة منسوب تبين الارتفاع فوق متوسط منسوب البحر (عن **Art Boza**)

منذ الستينيات وإلى الثمانينيات من القرن الماضي، ظهرت وانتشرت أجهزة القياس الإلكترونية ما أسهم في زيادة دقة الشبكة، ومع ظهور نظام الملاحة بالأقمار الاصطناعية ازدادت الدقة كثيراً، ولذلك تستخدم اليوم تقنية نظام المواقع العالمي بصورة رئيسية في تحديث مواقع نقاط التحكم الأفقية.

وبالإضافة إلى تحديث نقاط التحكم الأفقية باستخدام تقنية نظام تحديد المواقع العالمي، يتم تحديث نقاط التحكم الرأسية كلما تم تطوير نموذج جيوئيد محلي أكثر دقة (انظر 3.4.4.3 الجيوئيد المحلي).

في أيامنا هذه تسبح مئات الأقمار الاصطناعية الجيوديسية في مداراتها حول الأرض، ومعها الأقمار الاصطناعية التابعة لنظام GPS وGLONASS، كما ستنضم إليها الأقمار الاصطناعية التابعة لنظام Galileo الأوروبي في العام 2013. وقد جعلت هذه التطورات من شبكة الأقمار الاصطناعية الجيوديسية والملاحية أكثر مرونة وفعالية من حيث التكلفة بالمقارنة مع الشبكة الجيوديسية الأرضية، ومع ذلك ما زالت هناك حاجة إلى وجود شبكة أرضية لأن الأعمال المساحية التجارية تفضّل استخدام الأدوات التقليدية في المساحة الأرضية بدون الحاجة إلى كلفة إضافية ناتجة من أجهزة تدعم نظام تحديد المواقع العالمي، كما أن نقاط التحكم المنصوبة تمثل بديلاً في حال تعطل أو عدم وصول إشارة نظام تحديد المواقع العالمي، أو انخفاض جودتها في المناطق المزدحمة بالمباني المرتفعة.

من البدهي أن نقاط التحكم في الشبكات الجيوديسية العالمية تتحرك باستمرار مع حركة قشرة الأرض في حدود 2 إلى 20 سم كل عام، كما تتحرك أيضاً نتيجة للكوارث الطبيعية مثل الزلازل، ولذلك يستخدم الإطار المرجعي الأرضي الدولي (ITRF) لصيانة إحداثيات هذه النقاط أي تحويلها بصورة دورية (انظر 3.3.4 النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي).

3.6.1. المواصفات القياسية للشبكة الجيوديسية

تطور الجهات المختصة (انظر أيضاً 2.5 المواصفات القياسية الوطنية) المواصفات الفنية والقياسية التي تتعلق ببناء الشبكات الجيوديسية مثل المواصفات الفنية للأجهزة المستخدمة في قياس إحداثيات نقاط الشبكة، والحدود القصوى المقبولة لأخطاء القياس ومستوى الدقة المطلوب في تحديد إحداثياتها الأفقية والرأسية، والتباعد الأقصى بين النقاط، والمواد المستخدمة في تركيبها والشروط الفنية لمواقع التركيب من أجل الحفاظ على ثباتها، وشروط سلامتها، الخ.

يتم عادة توحيد النظام المرجعي لإحداثيات نقاط التحكم في الشبكة الجيوديسية الوطنية، مثل استخدام الشرقيات والشماليات بالمتر في النقاط الأفقية (إذا كانت الإحداثيات مسقطة) والارتفاع الأورثومتري بالمتر في النقاط الرأسية، وبخاصة عندما تقوم أكثر من جهة بإنشاء هذه النقاط، لأن تعدد أنظمة الإحداثيات لنقاط التحكم الجيوديسية يجعلها أقل فائدة. من ناحية أخرى يسمح اختيار نظام مرجعي معروف لنقاط التحكم للمستخدمين ولبرمجيات التقنيات المكانية باستخدام هذه النقاط في تلك البرمجيات مباشرة دون الحاجة إلى تغيير أو تحويل إحداثياتها.

من ناحية أخرى يختلف تصنيف نقاط الشبكة الجيوديسية من حيث الأهمية حسب الدولة، ويمكن بصورة عامة تصنيف هذه النقاط كما يلي:

- نقاط رئيسية: نقاط **الدرجة الأولى** (1st order) ونقاط الدرجة الثانية، وتتميز هذه النقاط بدقة كبيرة.
- نقاط ثانوية: نقاط الدرجة الثالثة، ونقاط **التكثيف** (densification).

3.6.1.1. لجنة التحكم الجيوديسي الاتحادية (FGCC)

نشرت **لجنة التحكم الجيوديسي الاتحادية** (Federal Geodetic Control Committee: FGCC) المواصفات القياسية والفنية للشبكات الجيوديسية (Standards and Specifications for Geodetic Control Networks) في العام 1984 لتحديث مواصفتين قياسيتين نشرتهما في العامين 1974 و1980. (FGCC, 1984)

يعتمد تصنيف علامة التحكم الأفقي في الشبكة الجيوديسية الوطنية – أي تعيين درجتها (order) وفئتها (class) – على العلاقة بين دقة الإحداثيات الأفقية للنقطة (العرض والطول الجيوديسيين) ودقة إحداثيات جميع النقاط الأخرى في شبكة التحكم الأفقي.

يُعبّر عن هذه العلاقة بدقة المسافة 1:a، حيث **دقة المسافة** (distance accuracy) هي نسبة الخطأ الموقعي النسبي لزوج من نقاط التحكم إلى المسافة الأفقية بين هاتين النقطتين، وتحسب قيمة a فيها من العلاقة:

$$a = \frac{d}{s}$$

حيث s الانحراف المعياري **المنتشر** (propagated) في المسافة بين النقطتين، و d المسافة بين النقطتين.

ويبين الجدول التالي الحد الأدنى لدقة المسافة لكل فئة من فئات نقاط الشبكة:

التصنيف	الحد الأدنى لدقة المسافة
الدرجة الأولى	1:100,000
الدرجة الثانية – الفئة I	1:50,000
الدرجة الثانية – الفئة II	1:20,000
الدرجة الثالثة – الفئة I	1:10,000
الدرجة الثالثة – الفئة II	1:5,000

الجدول 3-8 المواصفات القياسية لدقة المسافة

يعتمد تصنيف علامة التحكم الرأسي بالطريقة ذاتها على العلاقة بين دقة الإحداثيات الرأسية للنقطة (الارتفاع فوق متوسط منسوب البحر) ودقة الإحداثيات الرأسية لجميع النقاط الأخرى في شبكة التحكم الرأسي.

يُعبّر عن هذه العلاقة بدقة فرق الارتفاع b، حيث **دقة فرق الارتفاع** (elevation difference accuracy) هي نسبة خطأ الارتفاع النسبي لزوج من نقاط التحكم إلى الجذر التربيعي للمسافة الأفقية بين هاتين النقطتين على طول **مسار التسوية** (leveling route) بينهما.

$$b = \frac{S}{\sqrt{d}}$$

حيث d المسافة الأفقية التقريبية (كلم) بين مواقع نقاط التحكم على طول مسار التسوية الحالي، وS الانحراف المعياري المنتشر في فرق الارتفاع (ملم) بين النقطتين.

ويبين الجدول التالي الحد الأقصى لدقة فرق الارتفاع لكل فئة من فئات نقاط الشبكة:

التصنيف	الحد الأقصى لدقة فرق الارتفاع
الدرجة الأولى – الفئة I	0.5
الدرجة الأولى – الفئة II	0.7
الدرجة الثانية – الفئة I	1.0
الدرجة الثانية – الفئة II	1.3
الدرجة الثالثة	2.0

الجدول 3-9 المواصفات القياسية لدقة فرق الارتفاع

يعتمد تصنيف نقاط تحكم الجاذبية في الشبكة أيضاً على مستوى دقتها c، الذي يحسب من المعادلة التالية:

$$c^2 = \sum_{i+1}^{n} \left(\frac{(x_i - x_m)^2}{(n - 1)} \right) + e^2$$

حيث x_i قياس الجاذبية، وn عدد القياسات، وe خطأ عشوائي خارجي وx_m قيمة تحسب من المعادلة:

$$x_m = \sum_{i+1}^{n} \left(\frac{x_i}{n} \right)$$

يبين الجدول التالي المواصفات القياسية لدقة الجاذبية:

التصنيف	دقة الجاذبية (ملّيجال µGal)
الدرجة الأولى – الفئة I	20
الدرجة الأولى – الفئة II	20
الدرجة الثانية	50
الدرجة الثالثة	100

الجدول 3-10 المواصفات القياسية لدقة الجاذبية

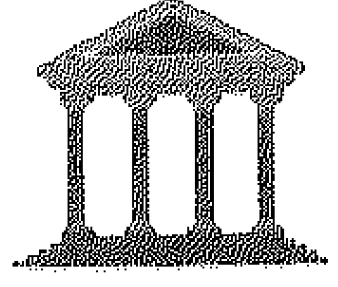
تغطي هذه المواصفة أيضاً المواصفات الفنية للشبكات الجيوديسية ذات الصلة بالأعمال المساحية المستخدمة في بناء وتوسعة الشبكة مثل التثليث والتضليع و**المساحة بالقصور الذاتي** (inertial surveying) والتسوية الجيوديسية والمساحة التصويرية وتحديد المواقع بالأقمار الاصطناعية باستخدام ظاهرة دوبلر وقياسات الجاذبية، ولكن تفاصيل ذلك تقع خارج نطاق هذا الكتاب.

3.6.1.2. اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية

من المواصفات القياسية ذات الصلة بنقاط الشبكة الجيوديسية أيضاً **المواصفات القياسية للشبكات الجيوديسية** (Standards for Geodetic Networks) من اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية (Federal Geographic Data Committee: FGDC) (انظر 2.5.3 اللجنة الاتحادية للبيانات الجغرافية) التي تحدد التصنيف القياسي للدقة الأفقية والرأسية في الشبكة الجيوديسية كما يلي:

تصنيف الدقة	سوية الثقة 95% أقل أو يساوي (متر)	تصنيف الدقة	سوية الثقة 95% أقل أو يساوي (متر)
1 ملم	0.001	1 ديسيمتر	0.100
2 ملم	0.002	2 ديسيمتر	0.200
5 ملم	0.005	5 ديسيمتر	0.500
1 سم	0.010	1 م	1.000
2 سم	0.020	2 م	2.000
5 سم	0.050	5 م	5.000
		10 م	10.000

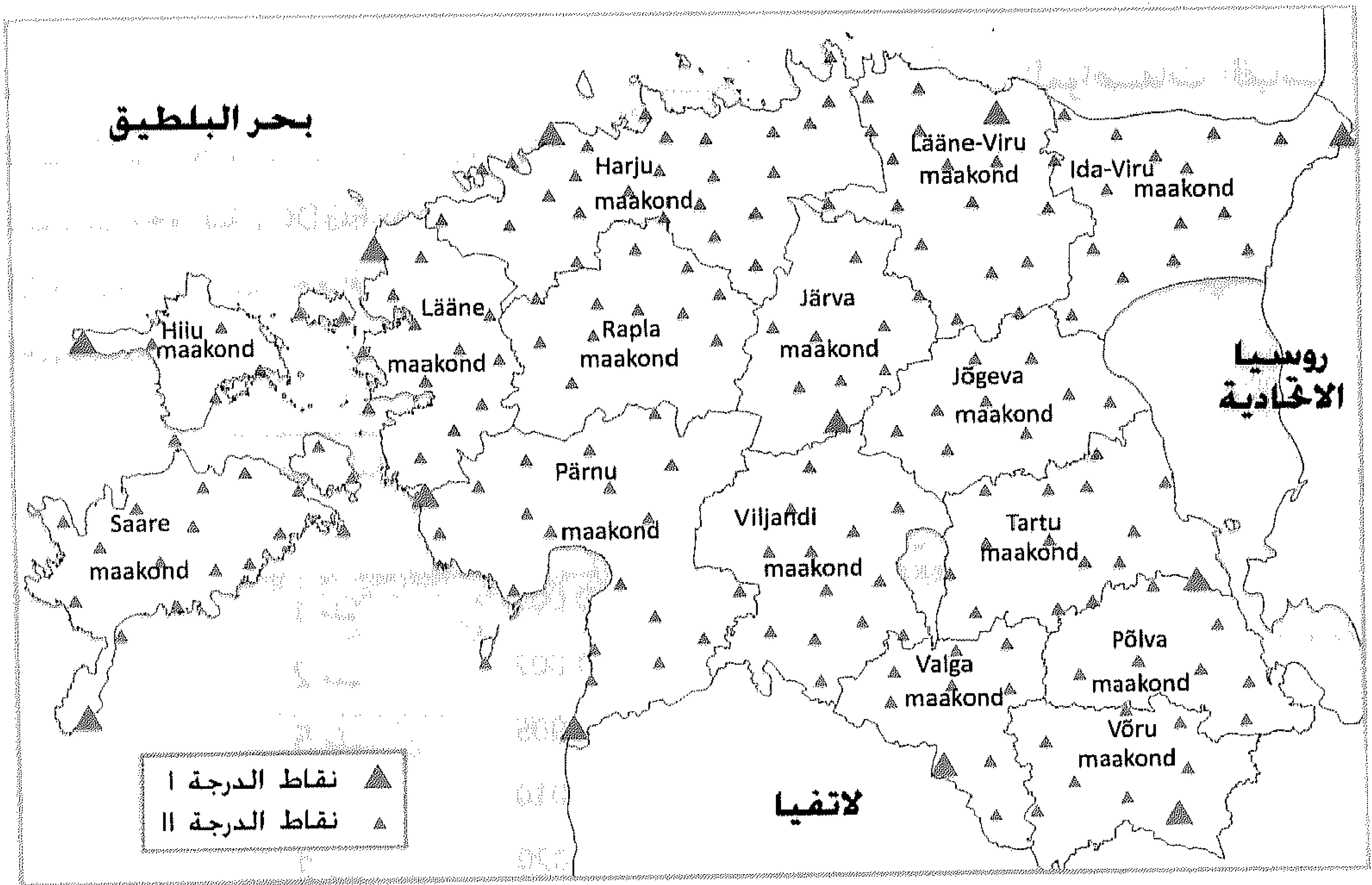
الجدول 3-11 مواصفات FGDC القياسية لدقة الشبكة الجيوديسية



تُعدّ الشبكة الجيوديسية الوطنية من الأصول الثمينة في الدولة وتؤدي دوراً مهماً في التنمية والتطوير، ولذلك تعتني الجهات المختصة بحماية وتطوير هذه الشبكة وتوسعتها وتصحيح إحداثياتها الأفقية والرأسية بصورة دورية، وستصادفك في حياتك العملية مشروعات تحسين الشبكة الجيوديسية من وقت إلى آخر.

.3.6.2 مثال عن الشبكة الجيوديسية الوطنية

بصورة عامة لا تتوفر معلومات عن الشبكات الجيوديسية الوطنية وخرائطها لأسباب تتعلق بأمن المعلومات، ولذلك لم نوفّق إلى إيراد مثال من المنطقة العربية. بدلاً من ذلك سنتحدث عن الشبكة الجيوديسية الوطنية الأستونية التي يوفر موقع مجلس الأراضي في أستونيا (Estonia Land Board) على إنترنت بعض المعلومات والخرائط عنها.



الشكل 3-51 نقاط الدرجة الأولى والثانية في الشبكة الجيوديسية الوطنية الأستونية

تم تحديد إحداثيات الشبكة الوطنية الجيوديسية الأستونية بتقنية نظام تحديد المواقع العالمي، وتنقسم إلى نقاط الدرجة الأولى (13 نقطة) والدرجة الثانية (199 نقطة) ونقاط التكثيف. النقاط

الأساسية للشبكة هي نقاط مقيسة في الإطار المرجعي ITRF96 (انظر 3.3.4 النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي)، وتصل كثافة الشبكة إلى 1 نقطة في كل 225 كلم مربع.

تم تركيب نقاط الدرجة الأولى والثانية في العام 1998، ويراوح متوسط المسافة بين النقاط المتجاورة من الدرجة الأولى بين 70 و110 كلم، و15 كلم بين نقاط الدرجة الثانية، مع خطأ متوسط التربيع ±1 سم في النقاط من الدرجة الأولى والثانية، وأخطاء نسبية 1:700000 و1:500000، على التوالي.

قامت شركات خاصة بتركيب نقاط التكثيف على مراحل خلال الفترة من 1992 إلى 2001، وتتألف هذه الشبكة من 3922 نقطة تم تحديدها بنظام تحديد المواقع العالمي، ويصل متوسط المسافة بينها إلى 5 كلم، بخطأ متوسط التربيع في هذه النقاط بين ±1 و±3 سم، وخطأ نسبي 1:250000.



بمناسبة الحديث عن السرية التي تحيط بها الجهات المختصة معلومات الشبكة الجيوديسية، ينشط بعض الهواة في جمع المعلومات عن نقاط الشبكات الجيوديسية وبناء قاعدة بيانات بها. الموقع التالي مثلاً يوفر قاعدة بيانات بعلامات المناسيب في المملكة المتحدة:

http://www.bench-marks.org.uk

3.7. تعيين نظام الإحداثيات المرجعي في برامج نظام المعلومات الجغرافية

يصادف المستخدم في حياته العملية بيانات مكانية مجهولة النظام المرجعي، وبالتالي يجب عليه تعيين أو تعريف نظام الإحداثيات المرجعي (الجغرافي، المُسقط، المركّب الخ) لها حتى تصبح ذات معنى.

تشبه هذه العملية وضع لصاقة على البيانات بحيث يمكن التعرف على نظامها المرجعي عند استخدامها في المرات القادمة، مع العلم أن هذه العملية لا تتضمن أي تحويل أو تعديل على البيانات، فإحداثياتها لا تتغير قيمتها بعد تعيين النظام المرجعي لها.

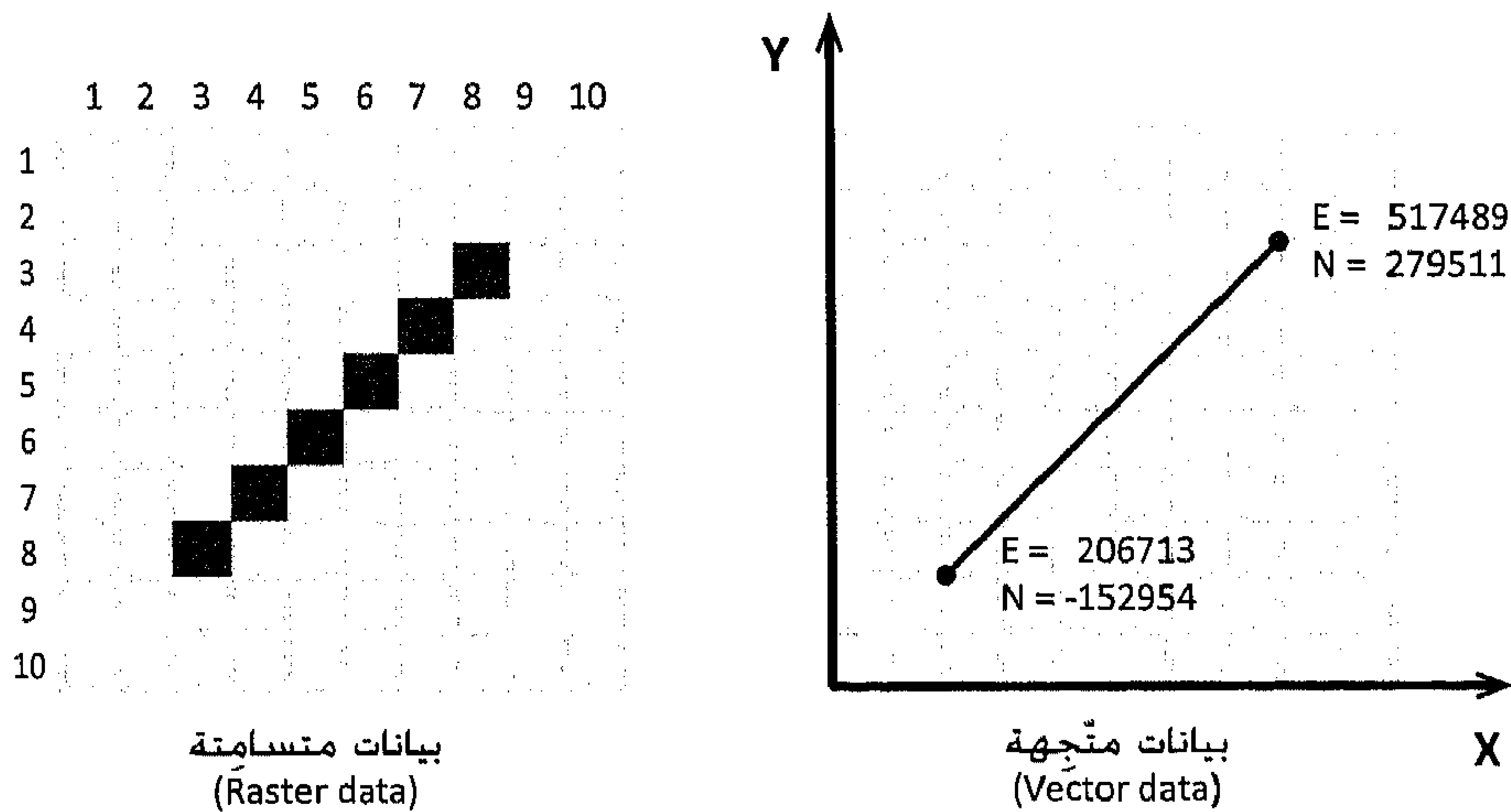
إذا كانت قيم الإحداثيات في البيانات المكانية محصورة بين 90± و180± فيمكننا أن نستنتج أنها إحداثيات جغرافية، وأما إذا كانت هذه القيم كبيرة فهي على الأرجح إحداثيات مسقطة.

لكن هذا لا يكفي لمعرفة النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية أو النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة التي قيست إليه هذه الإحداثيات، نظراً لوجود المئات من هذه الأنظمة. يتطلب استنتاج النظام المرجعي خبرة بالعمل في المؤسسة ومعرفة بالأنظمة المرجعية المحتملة، بالإضافة إلى القيام ببعض التجارب.

بعد التأكد من النظام المرجعي لإحداثيات البيانات المكانية يجب تعيين نظام الإحداثيات المرجعي لها باستخدام الأدوات المتوفرة لهذا الغرض في برامج نظام المعلومات الجغرافية. تنفذ هذه العملية أيضاً لتصحيح اسم النظام المرجعي لإحداثيات بيانات إذا تم تعريف نظامها المرجعي بطريق الخطأ.

عند إضافة البيانات المكانية ذات الأنظمة المرجعية المختلفة من مصادر متعددة تستطيع برامج نظام المعلومات الجغرافية تحويلها تلقائياً إلى نظام إحداثيات ملف الخريطة بحيث تتراكب بصورة صحيحة، ولا تُدخل أية تعديلات على إحداثيات البيانات الأصلية، لأن البرامج تقوم بذلك **لحظياً** (on the fly) لأغراض العرض فقط، ومن هنا تأتي أهمية تعيين النظام المرجعي لإحداثيات البيانات التي نعمل عليها.

تختلف الخطوات المطلوبة لتعيين نظام الإحداثيات المرجعي بين البيانات المتجهة (vector data) والبيانات المتسامتة (raster data) قليلاً نظراً لاختلاف طبيعة الإحداثيات بين هذين النوعين من البيانات.



الشكل 3-52 البيانات المتجهة والبيانات المتسامتة

البيانات المتجهة (vector data) هي البيانات التي تتألف من أشكال هندسية تُمثّل بمعادلات رياضية، مثل النقطة والخط والمضلع الخ، ويتم تخزين قيم الإحداثيات الجغرافية أو الإحداثيات المُسقطة الخ في هذه البيانات، بينما تتألف البيانات المتسامِتة (raster data) من مجموعة كبيرة من الخلايا أو البكسلات وتكون مرتبة في صفوف وأعمدة مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية والصور الممسوحة (scanned)، ويُعبّر عن إحداثيات الخلايا فيها بطريقة بسيطة هي رقم الصف ورقم العمود، وليس الإحداثيات الجغرافية أو الإحداثيات المسقطة الخ.

إذاً أين ستُعرض الصورة في برامج نظام المعلومات الجغرافية؟

لا يكفي تعريف النظام المرجعي للبيانات المتسامتة للعمل في برامج نظام المعلومات الجغرافية مع هذا النوع من البيانات بل يجب إسناد الصورة جغرافياً (georeferencing) أو ربطها (correlate) مع نظام الإحداثيات المرجعي.

البيانات المتسامتة معروفة النظام المرجعي وغير المسندة جغرافياً تظهر في برامج نظام المعلومات الجغرافية في موقع غير صحيح، مثل إدراج الزاوية العليا اليسرى للصورة في النقطة (0, 0).

بعض هيئات (formats) البيانات المتسامتة مثل ملفات ERDAS وIMAGINE وBSQ وBIL وBIP وGeoTiff وGRID وGeoSPOT تدعم حفظ النظام المرجعي ومعلومات الإسناد الجغرافي أو **الارتباط** (correlation) للصورة في **ترويسة** (header) الملف، أما الهيئات الأخرى التي لا تدعم هذه الميزة فيجب حفظ معلومات نظام الإحداثيات المرجعي في ملف مرافق (الملف aux في ArcGIS) ومعلومات الإسناد الجغرافي في ملف مرافق آخر يسمى عادةً **ملف العالم** (world file).

بهدف تنظيم المعلومات في هذا الكتاب سنفترض أن البيانات المتسامتة في الأمثلة التالية مُسندة جغرافياً أو تأتي مع ملف العالم المرافق ومعروفة النظام المرجعي، بينما سنتناول بالتفصيل تسجيل البيانات المتسامتة وبنية ملف العالم في الفصل الثالث (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).

مشروع:

لدينا بيانات مكانية متجهة ومتسامتة تمثل الشوارع في مدينة أسيوط في مصر تظهر عند تحميلها في برامج نظام المعلومات الجغرافية مجهولة النظام المرجعي. يراد تعريف النظام المرجعي لإحداثيات هذه البيانات علماً بأن إحداثياتها جغرافية منسوبة إلى Egypt 1907.

الحل:



يُعيّن النظام المرجعي للبيانات المتجهة في ArcGIS من خلال الأداة Define Projection في ArcToolbox.

انقر فوق زر ArcToolbox في ArcMap أو ArcCatalog وانتقل إلى:

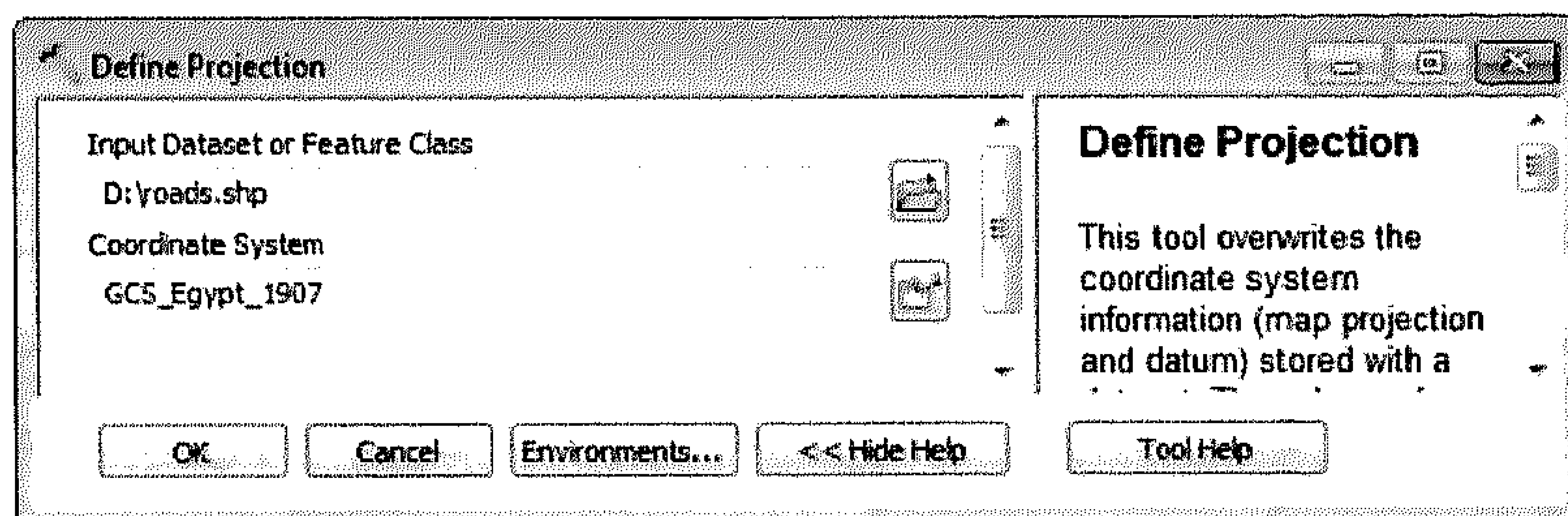
Data Management Tools > Projections and Transformations > Define Projection

انقر فوق زر Browse وانتق الملف roads.shp إذا لم تقم بتحميله في ArcMap أو انتق roads من القائمة المنسدلة Input Dataset or Feature Class. يتعرف ArcGIS على النظام المرجعي لإحداثيات البيانات roads ويقوم بعرض عبارة Unknown تلقائياً في مربع الإدخال Coordinate System.

نحدد النظام المرجعي الهدف أي 1907 Egypt بالنقر فوق زر مكتبة الأنظمة المرجعية، وفي صندوق الحوار Spatial Reference Properties ننقر فوق الزر Select ونختار:

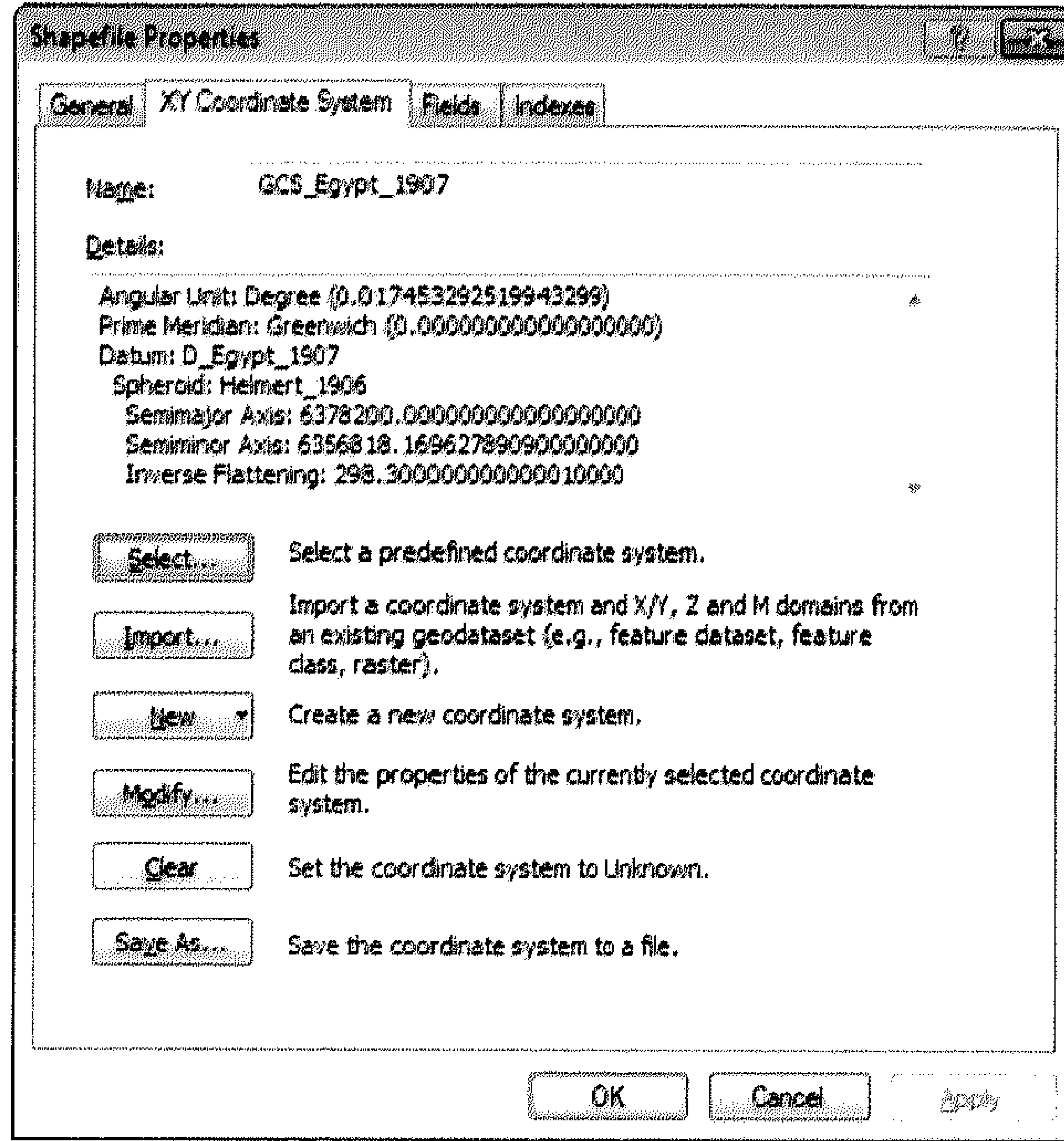
Predefined > Geographic Coordinate Systems > Africa > Egypt 1907.prj

ثم ننقر فوق الزر Add ثم الزر موافق.



الشكل 3-53 تعيين النظام المرجعي لإحداثيات البيانات المكانية في ArcGIS

ملاحظة: يستخدم ArcGIS هنا مصطلح Projection، ولكن هذه الأداة تقوم بتعريف النظام المرجعي للبيانات سواء أكانت الإحداثيات جغرافية أم إحداثيات مسقطة أم إحداثيات مركبة الخ.



الشكل 3-54 إزالة النظام المرجعي عن إحداثيات البيانات المكانية في **ArcGIS**

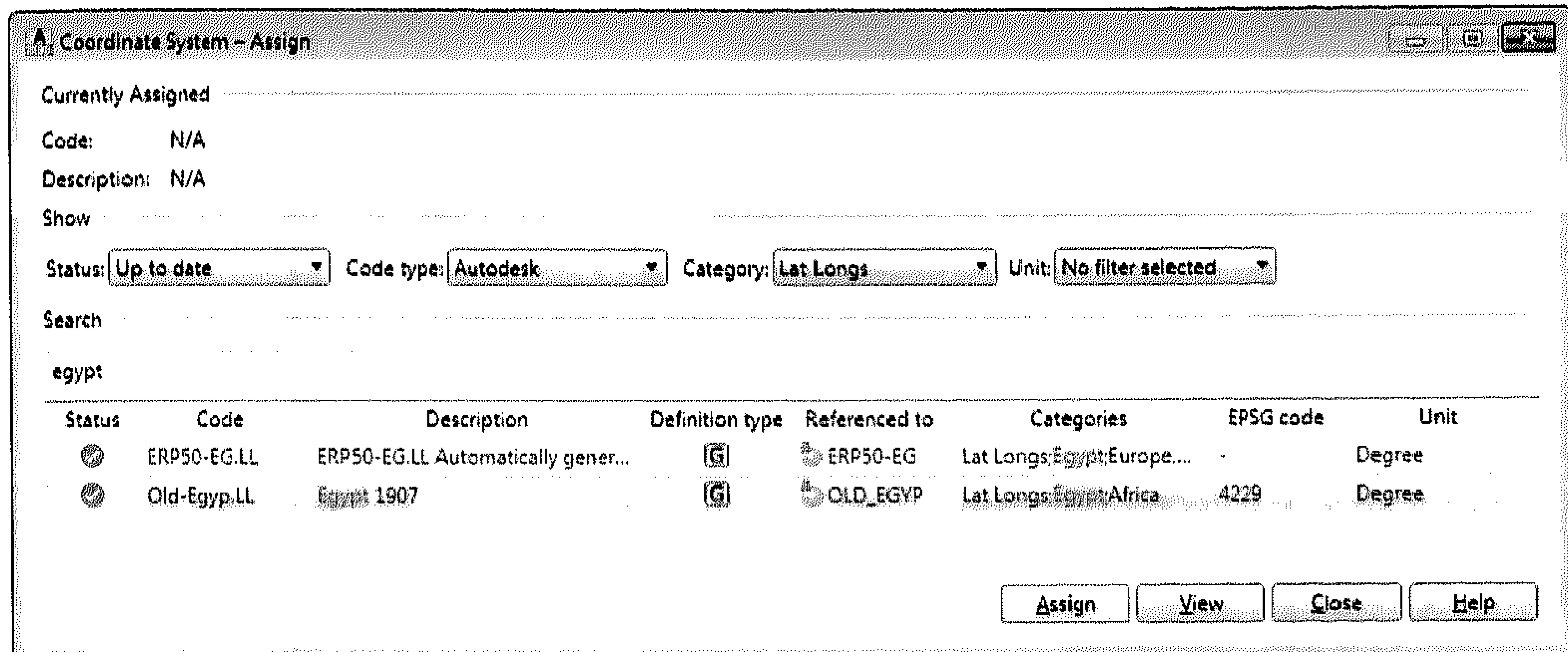
يمكن في ArcGIS تعيين وإزالة تعريف النظام المرجعي عن البيانات المكانية بطريقة أخرى بالنقر فوق البيانات المكانية في ArcCatalog بزر الفأرة الأيمن وانتقاء Properties والانتقال إلى لسان التبويب XY Coordinate System والنقر فوق زر Select لتعريف النظام أو الزر Clear لإزالته وجعله نظاماً مجهولاً.

يُعرّف النظام المرجعي للبيانات المتسامتة في ArcGIS بالأداة ذاتها التي يُعرّف فيها النظام المرجعي للبيانات المتجهة. عند تعريف النظام المرجعي للبيانات المتسامتة في ArcGIS فإنه يقوم بإنشاء ملف العالم تلقائياً بالإضافة إلى **الملف المساعد** (auxiliary file) الذي يحمل الامتداد aux أو aux.xml ويتضمن معلومات متنوعة منها النظام المرجعي للبيانات المتسامتة. لكن هذا الملف المساعد لا تدعمه إلا برمجيات ESRI وERDAS.

AutoCAD® Map 3D

يُعيّن نظام الإحداثيات المرجعي لملف الخريطة الحالي في AutoCAD Map 3D باستخدام الأمر Assign Global Coordinate System:

Menu: Setup > Assign Global Coordinate System
Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Assign
Command: MAPCSASSIGN



الشكل 3-55 صندوق حوار Coordinate System - Assign في AutoCAD Map 3D

في مربع الحوار Coordinate System - Assign يمكن انتقاء نظام الإحداثيات من المكتبة المتوفرة، أو استخدام المرشّحات (filters) المتوفرة للوصول إلى النظام Egypt 1907 بسرعة، ثم ننقر فوق الزر Assign، وبعد تعيين النظام المرجعي نقوم بحفظ ملف الخريطة.

لإزالة النظام المرجعي نستخدم الأمر Assign Global Coordinate System:

Command: ADESETCRDSYS

في مربع الحوار، ندخل نقطة (.) في مربع الإدخال Code في المجموعة Current Drawing، وننقر فوق الزر موافق.

يُعرّف النظام المرجعي للبيانات المتسامتة في AutoCAD Map 3D بإدراج الصورة في ملف يطابق النظام المرجعي لإحداثياته النظام المرجعي لإحداثيات الصورة، وبعد ذلك يمكن استخدام الملف الناتج بطريقتين:

- العمل على الملف ذاته
- إرفاقه في ملف ثان وسيقوم AutoCAD Map 3D بعرض الصورة في الموقع الصحيح مع إعادة إسقاط الصورة بحيث تطابق النظام المرجعي للملف الثاني إذا لم يكن مطابقاً للنظام المرجعي لإحداثيات الملف الأول.



نعلم من الجدول أن معرِّف النظام المرجعي Egypt 1907 هو 4229، ويمكن التأكد من ذلك من خلال تعليمة SQL التالية:

```
SQL> SELECT "SRID", "COORD_REF_SYS_NAME", "COORD_REF_SYS_KIND" FROM
"MDSYS"."SDO_COORD_REF_SYS" WHERE COORD_REF_SYS_NAME LIKE '%Egypt 1907%'
AND COORD_REF_SYS_KIND = 'GEOGRAPHIC2D';

SRID        COORD_REF_SYS_NAME          COORD_REF_SYS_KIND
---------------------------------------------------------------
4229        Egypt 1907                  GEOGRAPHIC2D

SQL>
```

يُعرّف النظام المرجعي للبيانات في جدول user_sdo_geom_metadata، وهو الجدول الذي يتم فيه تخزين ما وراء البيانات (metadata) لطبقات البيانات المكانية:

```
SQL> INSERT INTO user_sdo_geom_metadata VALUES ('ROADS','SHAPE',
  2   MDSYS.SDO_DIM_ARRAY(
  3     MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('LONGITUDE',-180,180,0.05),
  4     MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('LATITUDE',-90,90,0.05)
  5   ),
  6   4229
  7  );
1 row created.
SQL> commit;
Commit complete.
```

بطريقة مشابهة يمكن إزالة تعريف النظام المرجع للبيانات بحذف السجل ذي الصلة بهذه البيانات من الجدول:

```
SQL> DELETE FROM USER_SDO_GEOM_METADATA WHERE TABLE_NAME = 'ROADS';
1 row deleted.
SQL> COMMIT;
Commit complete.
SQL>
```

يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي setSRS في الحزمة SDO_GEOR لتعريف النظام المرجعي للبيانات المتسامتة، لكن هذا الإجراء يتضمن أيضاً الإسناد الجغرافي للبيانات ولذلك سنناقش تعريف النظام المرجعي للبيانات المتسامتة في الفصل الثالث (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).



يمكن في FME تعيين وإزالة تعريف نظام الإحداثيات المرجعي عن البيانات المكانية باستخدام **المحوّلات** (transformers) التالية:

المحوّل	الشرح
CoordinateSystemSetter	يعرّف نظام الإحداثيات المرجعي للبيانات المكانية ولكنه لا يقوم بتحويلها أو إدخال أية تعديلات عليها.
CoordinateSystemRemover	يزيل تعريف نظام الإحداثيات المرجعي المرفق بالبيانات المكانية ولكنه لا يقوم بتحويلها أو إدخال أية تعديلات عليها.

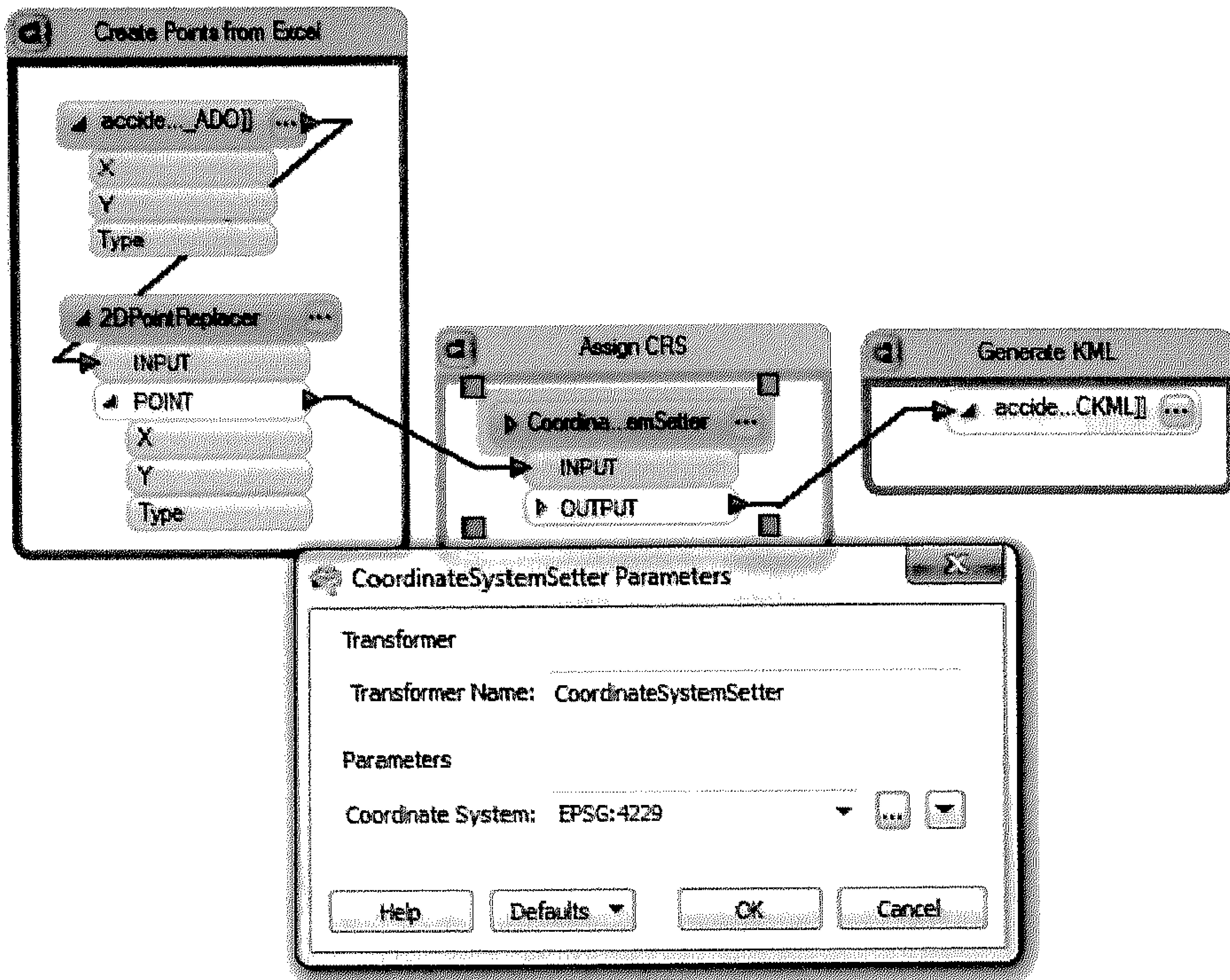
الجدول 3-12 محوّلات تعيين وإزالة تعريف نظام الإحداثيات المرجعي في FME

مشروع:

بالإضافة إلى البيانات في المثال السابق لدينا جدول في هيئة Excel يتضمن حوادث المرور في مدينة أسيوط ويشير الحقلان X وY فيه إلى إحداثيات حوادث المرور منسوبة إلى Egypt 1907. يراد إنشاء بيانات مكانية في هيئة KML لاستخدامها في Google Earth.

الحل:

نقوم بإنشاء البيانات المكانية (النقاط) التي تمثل الحوادث من جدول Excel باستخدام المحوّل 2DPointReplacer. لا تمتلك هذه البيانات أية معلومات عن نظام الإحداثيات المرجعي، ولذلك نقوم بتحويل الناتج وتعيين النظام المرجعي لإحداثيات النقاط باستخدام المحوّل CoordinateSystemSetter من خلال صندوق الحوار CoordinateSystemSetter Parameters، ومن ناتج العملية نقوم بإنشاء البيانات في هيئة KML.



الشكل 3-56 استخدام المحوّل CoordinateSystemSetter في FME

الفصل 4

الإسقاط والإحداثيات المسقطة

يعني إسقاط الخريطة تحويل الإحداثيات الجغرافية من الفضاء ثلاثي الأبعاد إلى إحداثيات على سطح ثنائي الأبعاد؛ أي الخريطة التي تعتمد نظاماً مرجعياً للإحداثيات المُسْقَطة.

نناقش في هذا الفصل:

- ✓ القياسات على الأرض، اتجاه الشمال، السمت والاتجاه والمسار الأقصر
- ✓ المحافظة على المقياس
- ✓ كيف يعمل الإسقاط ووسطاء إسقاط الخريطة
- ✓ تصنيف أنواع الإسقاط، والإسقاط السمتي والمخروطي والأسطواني
- ✓ الإسقاط في برامج نظام المعلومات الجغرافية

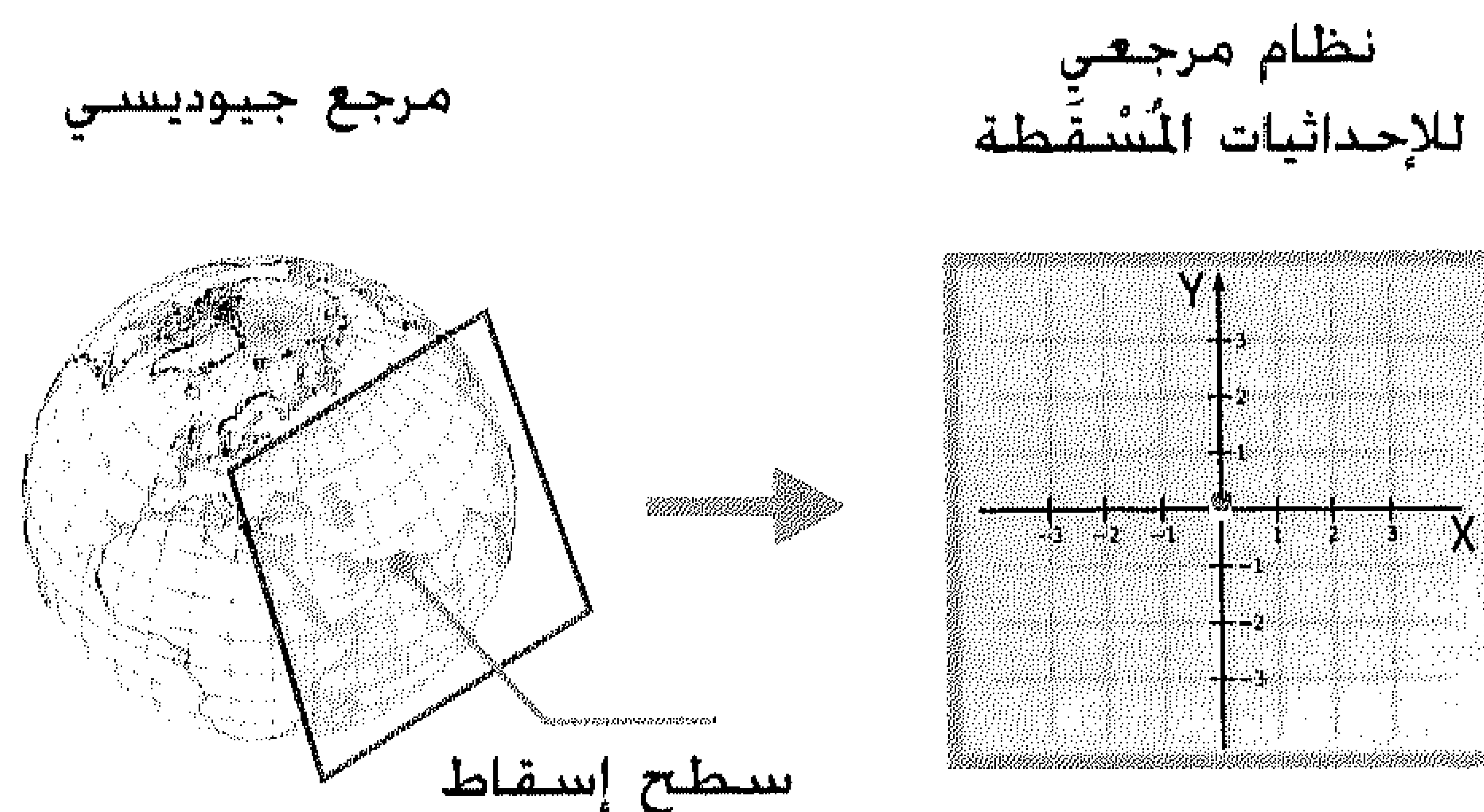
4. الإسقاط والإحداثيات المُسْقَطة

4.1. ما الإسقاط؟

بعد رصد إحداثيات المعالم على سطح الأرض بالاعتماد على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية، نحتاج إلى توقيع هذه الإحداثيات على سطح مستو وذلك لسهولة التعامل معه بدلاً من توقيعها على نموذج كروي. إن فكرة استخدام نموذج كروي أو إهليلجي لرسم الخرائط تعاني من العيوب التالية:

- باستثناء الأهداف التعليمية للأطفال واستخدامه للزينة، لا يمكن الاستفادة من نموذج كروي أو إهليلجي أثناء تنفيذ المهام اليومية، ولا يمكن التنقل به بسهولة.
- لو افترضنا إمكانية التعامل مع هذا النموذج فسنحتاج إلى مجسّم ضخم جداً لعرض التفاصيل الصغيرة التي نتعامل معها مثل المباني وخطوط الخدمات، وبالتالي تكون كلفة إنتاجه مرتفعة جداً.
- يصعب إجراء القياسات وتحديد الاتجاهات على النموذج الكروي.
- تستخدم الأعمال اليومية قياسات طولية (المتر أو القدم) ويصعب جداً التعامل مع الإحداثيات الجغرافية.

تسمح **الإحداثيات المسقطة** (projected coordinates) بالتعامل مع المساحات الصغيرة من الأرض بسهولة، إذ لا تتطلب إجراء أية تحويلات على القياسات الهندسية والمساحية ويمكن توقيع الأطوال والزوايا بزمن قصير وبدون الحاجة إلى التعامل مع الإحداثيات الجغرافية، نظراً لإهمال انحناء الأرض ضمن المساحات الصغيرة.



الشكل 4-1 مفهوم الإسقاط



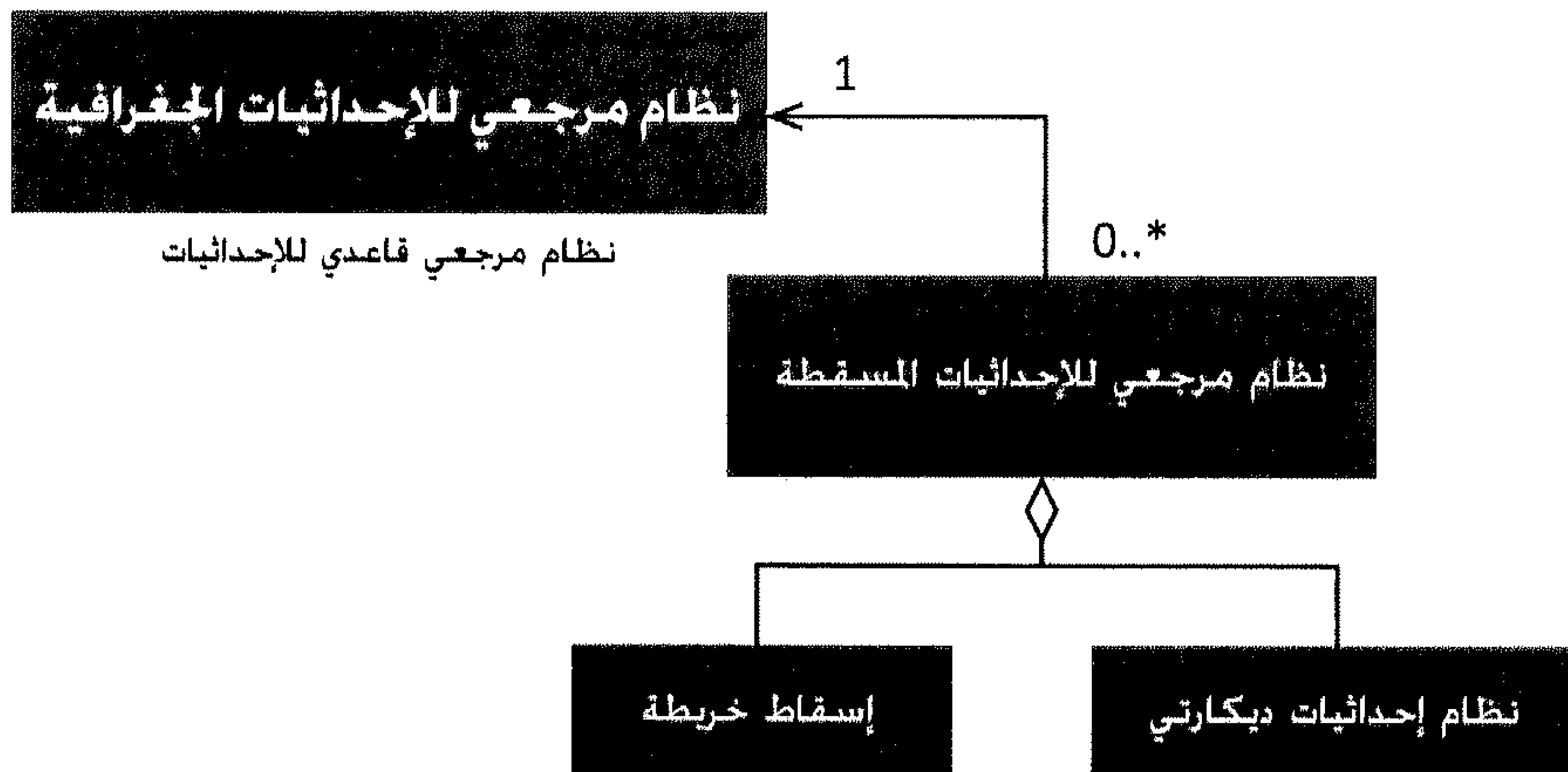
تسمى الإحداثيات المسقطة أيضاً **الإحداثيات التربيعية** (grid coordinates) أو **الإحداثيات المستوية** (plane coordinates) أو **إحداثيات الخريطة** (map coordinates).

لأن الإسقاط يقوم بتحويل قيمة الإحداثيات فإنه يصنّف في فئة العمليات على الإحداثيات (انظر 5 العمليات على الإحداثيات)، ولكن نظراً لتنوع أنظمة الإسقاط وحجم التفاصيل المطلوب عرضها تم إفراده في هذا الفصل المستقل.



يسمى الإسقاط في بعض المصادر العربية **الارتسام** و**التسطيح** أيضاً. كلمة تسطيح استخدمها البيروني في رسالته "الاستيعاب في تسطيح الكرة".

يعني إسقاط الخريطة تحويل الإحداثيات الجغرافية من الفضاء ثلاثي الأبعاد إلى إحداثيات على سطح ثنائي الأبعاد في **نظام مرجعي للإحداثيات المُسْقَطة** (projected coordinate reference system: ProjCRS)، وذلك باستخدام طرق الإسقاط المعروفة. يمكن نظرياً توليد العديد من الأنظمة المرجعية للإحداثيات المُسْقطة من نظام مرجعي واحد للإحداثيات الجغرافية وذلك بتطبيق طرق إسقاط مختلفة واستخدام وسطاء مختلفة.



الشكل 4-2 مكونات النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة

يبحث **إسقاط الخريطة** (map projection) في تحويل الإحداثيات من الأبعاد الثلاثة على سطح منحنٍ إلى إحداثيات ثنائية الأبعاد على مستو بهدف إنشاء الخرائط عن طريق معادلات رياضية تسمى معادلات إسقاط الخريطة مع تحديد نوع التشوّه الحاصل وتقليله قدر المستطاع.

تتسبب جميع طرق الإسقاط **بتشوّه** (distortion) السطح ثلاثي الأبعاد، بصورة أو أخرى، بطريقة مشابهة لتمزّق قشرة البرتقال إذا ما حاولنا بسطها على سطح مستو. وبما أن الغرض من الخريطة يختلف حسب الاستخدام، نستطيع إذاً انتقاء نوع التشوّه الذي يمكن قبوله. لذلك ظهرت أنواع عديدة من الإسقاط بغية الحفاظ على بعض خصائص السطح ثلاثي الأبعاد على حساب الخصائص الأخرى.



الشكل 4-3 تتسبب طرق الإسقاط بتشوّه السطح ثلاثي الأبعاد

في نظام المعلومات الجغرافية يمكننا إجراء القياسات والتحليل على الخريطة مباشرة؛ أي باستخدام الإحداثيات المُسقطة، أما في الممارسات المتعلقة بالجيوديسيا فإن العمل يكون باستخدام الإحداثيات الجيوديسية (الإهليلجية) ثم تُسقط نتائج التحليل على خريطة.

يتألف اسم النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة من جزأين: اسم النظام المرجعي الجغرافي أولاً ثم اسم طريقة الإسقاط وذلك لإزالة أي التباس، لأن طريقة الإسقاط الواحدة يمكن استخدامها نظرياً مع أي نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية، كما إن النظام الجغرافي الواحد يمكن إسقاطه بجميع طرق الإسقاط. ثمة أكثر من 250 نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة – مثلاً – تعتمد جميعها على الإحداثيات الجغرافية المنسوبة إلى WGS 84 ولكنها تستخدم طرق إسقاط مختلفة، أو أنها مصممة لتناسب مناطق مختلفة من العالم.

الجدول التالي يبين الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة المبنية على المرجع الجيوديسي Ain el Abd. من هذه الأنظمة ما يستخدم إسقاط **لامبرت المخروطي المطابق** (Lambert Conic Conformal) أو إسقاط **ميركاتور المستعرض العالمي** (Universal Transverse Mercator: UTM)، الخ:

النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة	SRID	النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة	SRID
Ain el Abd / Aramco Lambert	2318	Ain el Abd / UTM zone 37N	20437
Ain el Abd / Bahrain Grid	20499	Ain el Abd / UTM zone 38N	20438
Ain el Abd / UTM zone 36N	20436	Ain el Abd / UTM zone 39N	20439
		Ain el Abd / UTM zone 40N	20440

الجدول 4-1 الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة المبنية على المرجع الجيوديسي Ain el Abd

في المقابل يستخدم إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي لإسقاط البيانات المكانية المنسوبة لأي مرجع جيوديسي، ولذلك يمكن أن نصادف الأنظمة المسقطة التالية للمنطقة 39 شمالاً من إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي:

النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة	SRID	النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة	SRID
Afgooye / UTM zone 39N	20539	NGN / UTM zone 39N	31839
Ain el Abd / UTM zone 39N	20439	PSD93 / UTM zone 39N	3439
ED50(ED77) / UTM zone 39N	2059	TC(1948) / UTM zone 39N	30339
Fahud / UTM zone 39N	23239	WGS 72 / UTM zone 39N	32239
IGRS / UTM zone 39N	3892	WGS 72BE / UTM zone 39N	32439
Karbala 1979 / UTM zone 39N	3393	WGS 84 / UTM zone 39N	32639
Nahrwan 1967 / UTM zone 39N	27039	Yemen NGN96 / UTM zone 39N	2090

الجدول 4-2 الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة التي تستخدم UTM

ثمة أسلوبان أساسيان للإسقاط:

- **الإسقاط المنظوري أو الإسقاط الهندسي** (perspective projection or geometric projection): إسقاط الأشعة من مصدر الضوء على السطح المرجعي لتوليد ظلال المعالم على سطح مستو. يمكن شرح مبدأ الإسقاط المنظوري أيضاً بمعاينة منظورية للسطح المرجعي من نقطة بدلاً من فكرة إسقاط الأشعة.
- **الإسقاط غير المنظوري أو الإسقاط التحليلي** (non-perspective projection or analytical projection): استخدام توابع رياضية لتحويل الإحداثيات من السطح المرجعي إلى مستوٍ.

تسمى الإحداثيات الجديدة للنقاط **الإحداثيات المسقطة** (projected coordinates)،

وتسمى الشبكة الناتجة من إسقاط خطوط العرض والطول على سطح الإسقاط **الشبكة الكارتوغرافية** (cartographic grid)، ويختلف شكل خطوطها حسب نوع الإسقاط.

4.2. القياسات على الأرض

يمكن قياس العديد من الخصائص على سطح الأرض ومقارنتها بما يقابلها على الخريطة، ومن بين هذه الخصائص:

- المساحة: هل نسبة المساحات بين المعالم (مثل الدول) على الخريطة هي النسبة ذاتها بين مساحاتها على الأرض؟ لماذا تبدو جزيرة غرينلاند في بعض أنواع الإسقاط مساوية في المساحة قارة أفريقيا، رغم أنها أصغر منها بكثير؟

المساحة **خَصيصة** (property) (مفرد خصائص) حيوية في خرائط التوزيع. على سبيل المثال تتطلب **الخرائط الموضوعية** (thematic maps) استخدام الإسقاط مُساوي المساحة وذلك لعرض النسبة الصحيحة بين المساحات التي تنتشر فيها ظاهرة معينة، مثل الأراضي الزراعية السليمة وتلك المتضررة بآفة زراعية، أو تصنيف الأراضي حسب نوع المحاصيل، لأن الانطباع البصري لتوزيع الظاهرة على الخريطة يؤثر في فهمها.

- الشكل والزاوية: هل تطابق أشكال المعالم على الخريطة أشكالها على الأرض؟ هل الزاوية التي يصنعها خطان على الخريطة متطابقة مع الزاوية التي يصنعها هذان الخطان على الأرض؟
- المسافة: هل يمكن قياس المسافة بدقة بين أي نقطتين على الخريطة؟ هل يحافظ الإسقاط على مقياس الخريطة ثابتاً بين أي نقطتين؟

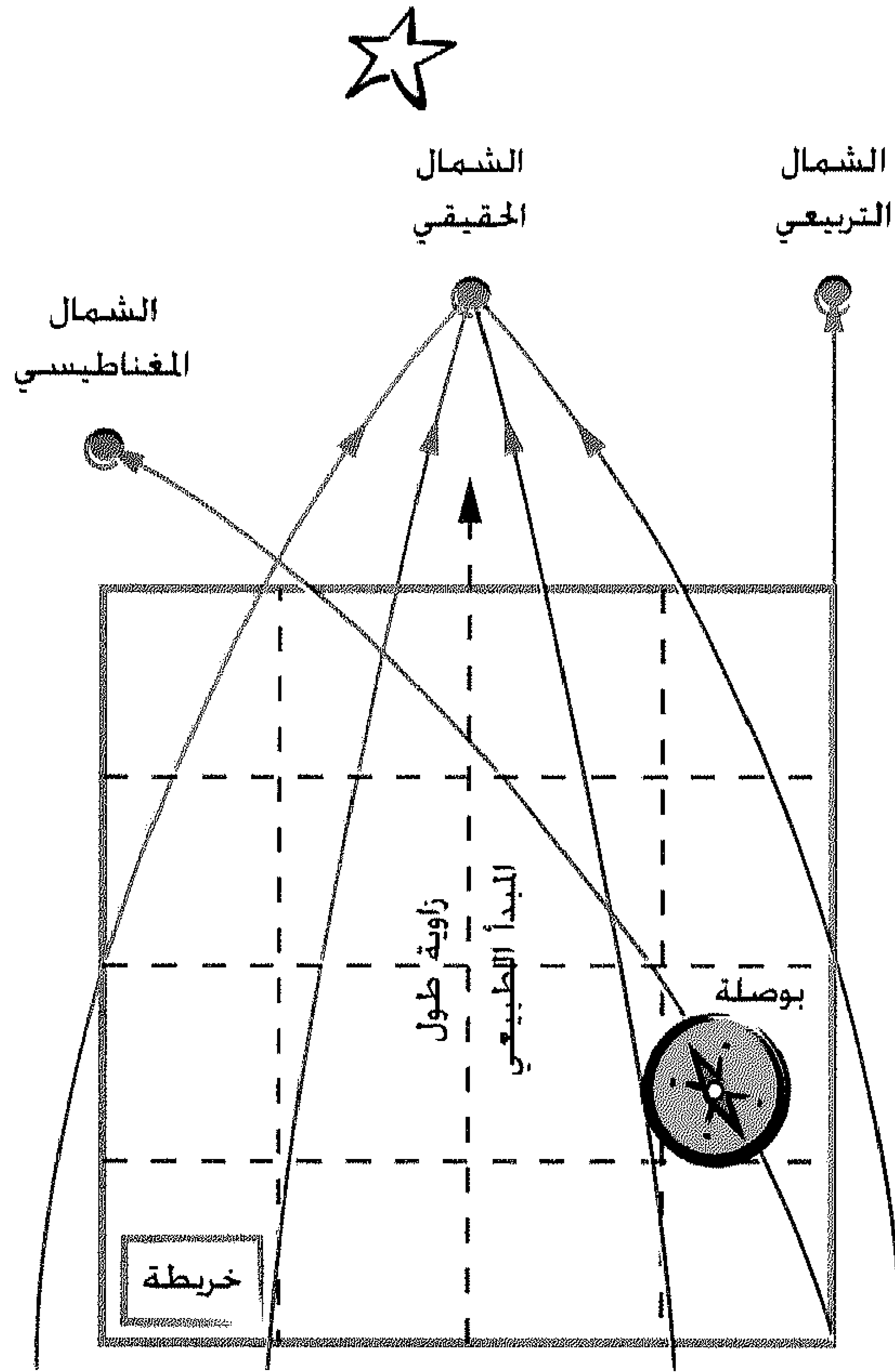
4.3. اتجاه الشمال

يأخذ بعض المستخدمين قياسات الاتجاه على أنها مسلمات، ويمكن أن يؤدي ذلك إلى أخطاء فادحة عند العمل مع البيانات والتقنيات المكانية. مثال على ذلك اتجاه الشمال الذي تشير إليه البوصلة أو اتجاه الشمال الظاهر على خريطة تعتمد نظاماً مرجعياً للإحداثيات المُسقطة.

يعرّف **الشمال الحقيقي** (true north) أو **الشمال الجيوديسي** (geodetic north) في أي نقطة بأنه الاتجاه إلى نقطة القطب الشمالي منها، وهو ينطبق مع خط الطول المار بتلك النقطة، مع العلم أن مركز القطب الشمالي يتغير باستمرار وإن ببطء شديد نظراً لتغير محور دوران الأرض

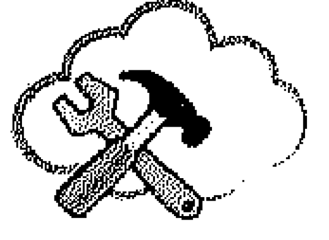
(انظر 3.3.4 النظام/الإطار المرجعي الأرضي الدولي).

أمـــا **الشـــمال المغناطيســـي** (magnetic north) فهو الاتجاه الذي تشير إليه الإبرة الممغنطة في البوصلة إذا وضعت في صورة أفقية وعُزلت عن التأثيرات الخارجية مثل الحقول الكهربائية والمعادن. تسمى النقطة الـتي تشـير إليهـا البوصـلة نقطـة الشـمال المغناطيسـي، وهـي نقطة تقع على مسافة تبعد مئات الكيلـومترات مـن نقطـة قطـب الشـمال الحقيقـي. تسـمى الزاويـة بين الشمالين الحقيقي والمغناطيسي **زاويـة الانحـراف المغناطيسـي** (magnetic variation or magnetic declination) وهي قيمـة متغـيرة بتغـير موقـع القيـاس علـى الأرض، كمـا تتغـير بمـرور الوقـت نظـراً لتغـير كتلـة الأرض، ولـذلك يجـب عنـد تسـجيل الاتجـاه المغناطيسـي تحديـد موقـع القيـاس وتاريخه.



الشكل 4-4 الفرق بين الشمال الحقيقي، المغناطيسي، والتربيعي

الشـمال التربيعـي (grid north) هـو الاتجـاه الـذي تشـير إليـه خطـوط الطـول علـى الشـبكة الكارتوغرافية (شبكة الإحداثيات) على الخريطة، وينطبق مع الشمال الحقيقي على طول خط واحد منها هو الخط الذي يمثل زاوية الطول للمبدأ الطبيعي، بينما ينحرف الشمال التربيعي عن الشمال الحقيقي كلما اتجهنا بعيداً عن ذلك الخط شرقاً أو غرباً، كما تزداد قيمة الانحراف على طول الخطوط الأخرى عن اتجاه الشمال الحقيقي كلما ابتعدنا عن خط الاستواء شمالاً أو جنوباً.



تتوفر مجموعة من الأدوات الفورية لحساب الانحراف المغناطيسي لأي موقع وفي تاريخ محدد، منها الأداة المتوفرة على موقع **الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي** (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA):

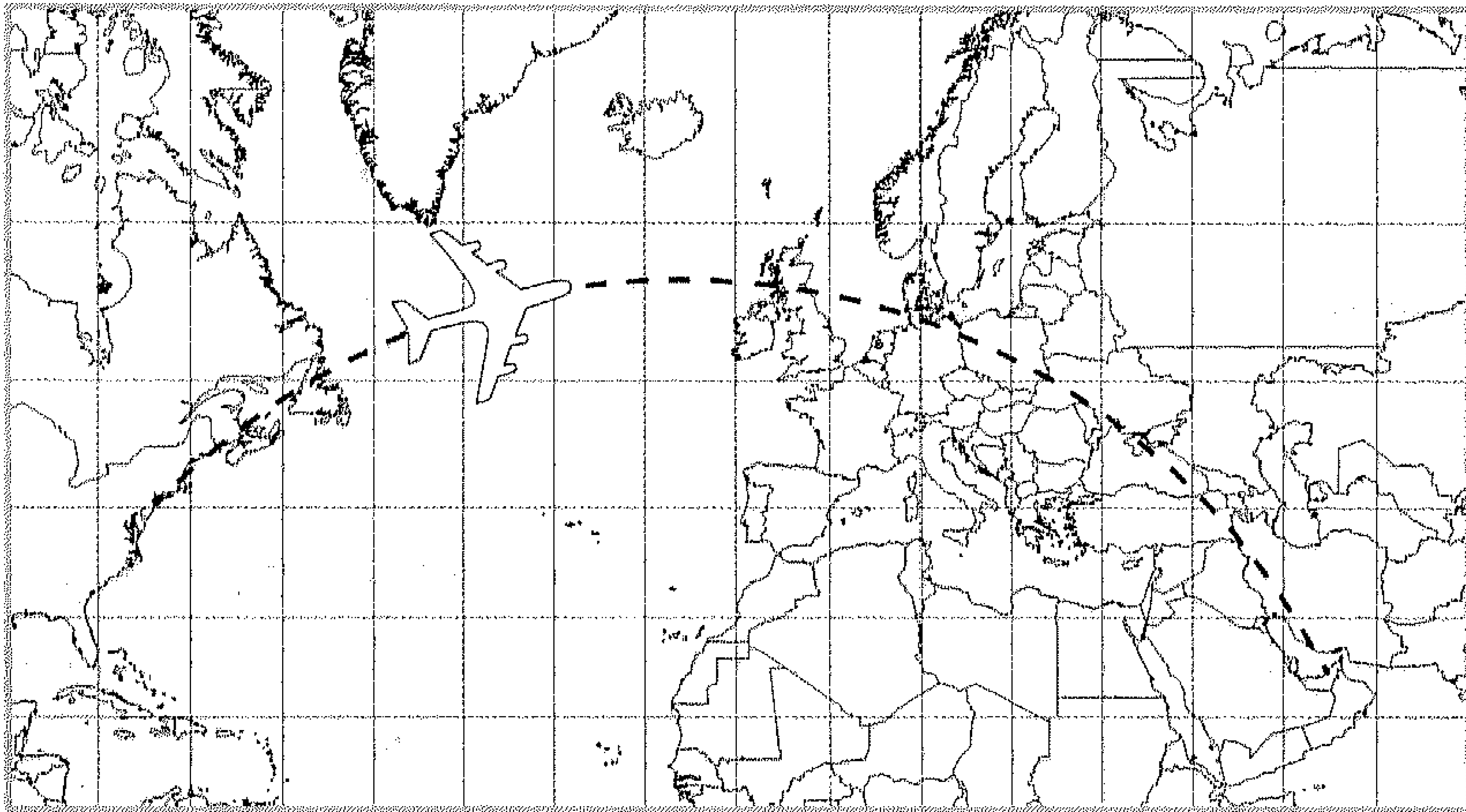
http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination

4.4. السمت والاتجاه والمسار الأقصر

من الخصائص الأخرى التي يمكن قياسها على سطح الأرض الاتجاه والسمت والمسار الأقصر، ولهذه الخصائص أهمية كبرى في تخطيط المسارات البحرية والجوية.

المسار الأقصر بين أي نقطتين على سطح الأرض (orthodrome) هو قوس جيوديسي يصل بينهما على السطح المرجعي (الكرة أو المجسّم الإهليلجي)، وهو قطعة من **الدائرة العظمى** (great circle) المارة في النقطتين. أما تعريف الدائرة العظمى فهي دائرة لها محيط الكرة الناتجة من تقاطع مستو يقسم الكرة إلى جزأين متساويين مار بمركز الكرة وبهاتين النقطتين.

ومن هنا نعلم أن إيجاد المسار الأقصر لرحلة جوية بين مدينتين، مثلاً، ليس مجرد رسم خط مستقيم بينهما على أي خريطة تقع بين أيدينا.



الشكل 4-5 المسار الأقصر بين نيويورك ودبي

يمكن حساب طول القوس الجيوديسي بين النقطة (φ_1, λ_1) والنقطة (φ_2, λ_2) بحساب الزاوية

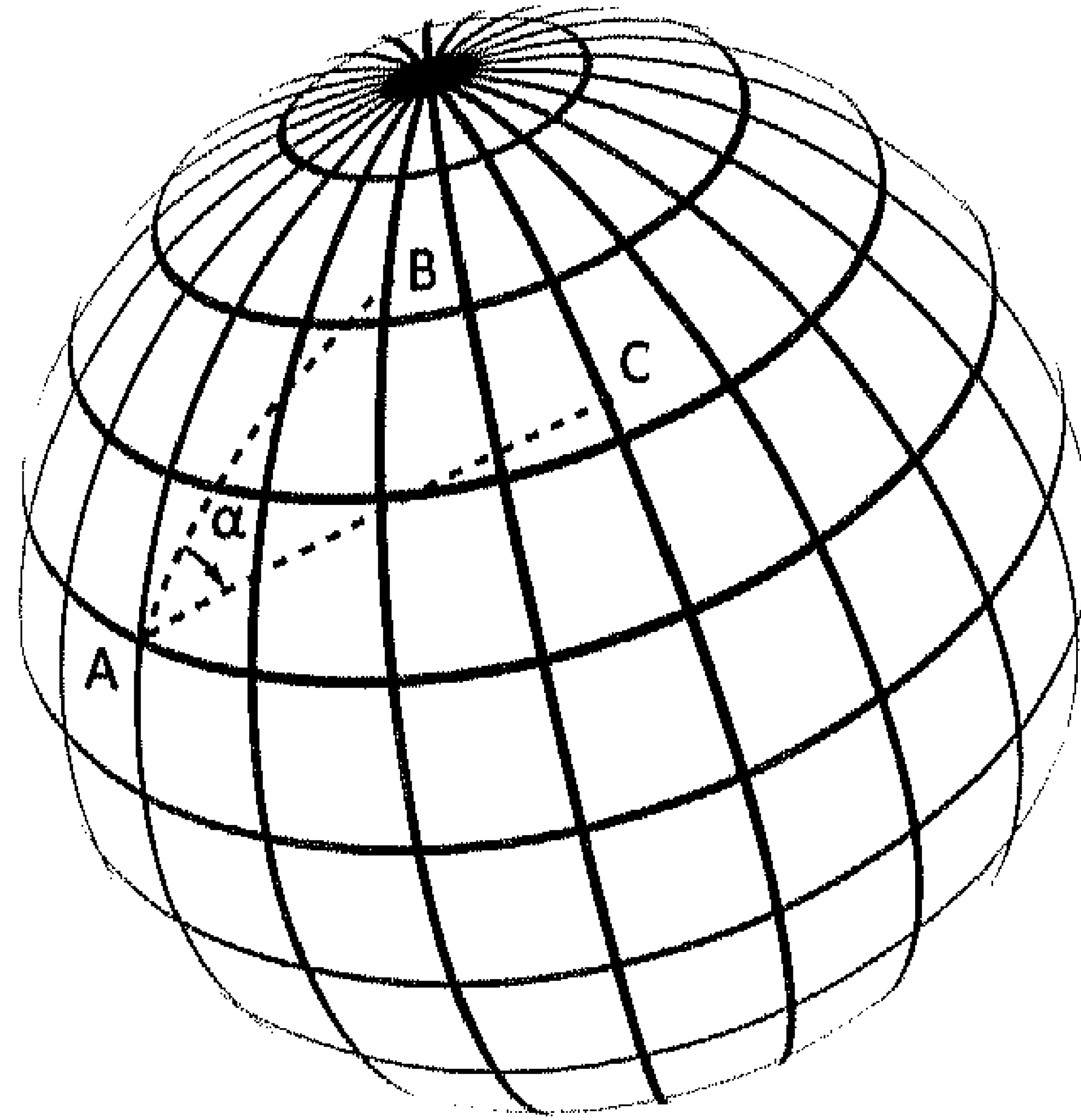
المركزية $\Delta\hat{\sigma}$ بين النقطتين من قانون التجيب في المثلثات الكروية (spherical law of cosines) كما يلي:

$$\cos \Delta\hat{\sigma} = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda$$

إذا كان r نصف قطر الكرة (6372.8 كلم)، يكون طول القوس d:

$$d = r\,\Delta\hat{\sigma}$$

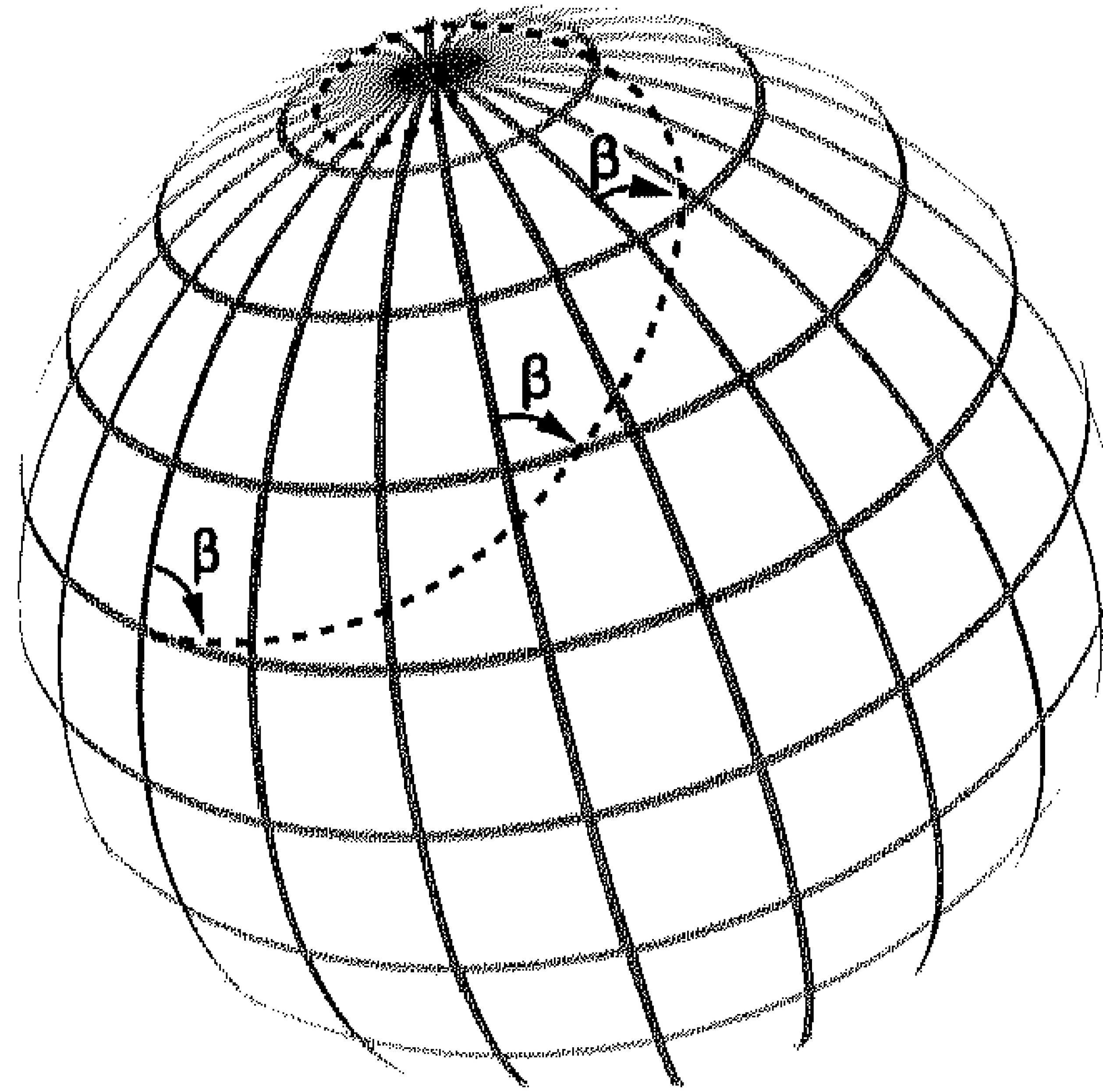
من ثلاث نقاط A وB وC على السطح المرجعي (الكرة أو المجسّم الإهليلجي)، حيث A نقطة مرجعية، يعرف **السمت** (azimuth) من B إلى C بالزاوية التي تصنعها خطوط المسار الأقصر AB و AC والتي هي أقواس جيوديسية على السطح المرجعي. بعبارة أخرى، السمت هو الزاوية التي يدور بها شخص يراقب النقطة B من A حتى يشاهد النقطة C.



الشكل 4-6 السمت

أما **الاتجاه** (bearing) فهو الزاوية التي يصنعها خط المسافة الأقصر BC مع خط الطول المار في النقطة B، وبذلك يتشابه الاتجاه مع السمت لكن الخط AB هو خط طول دائماً.

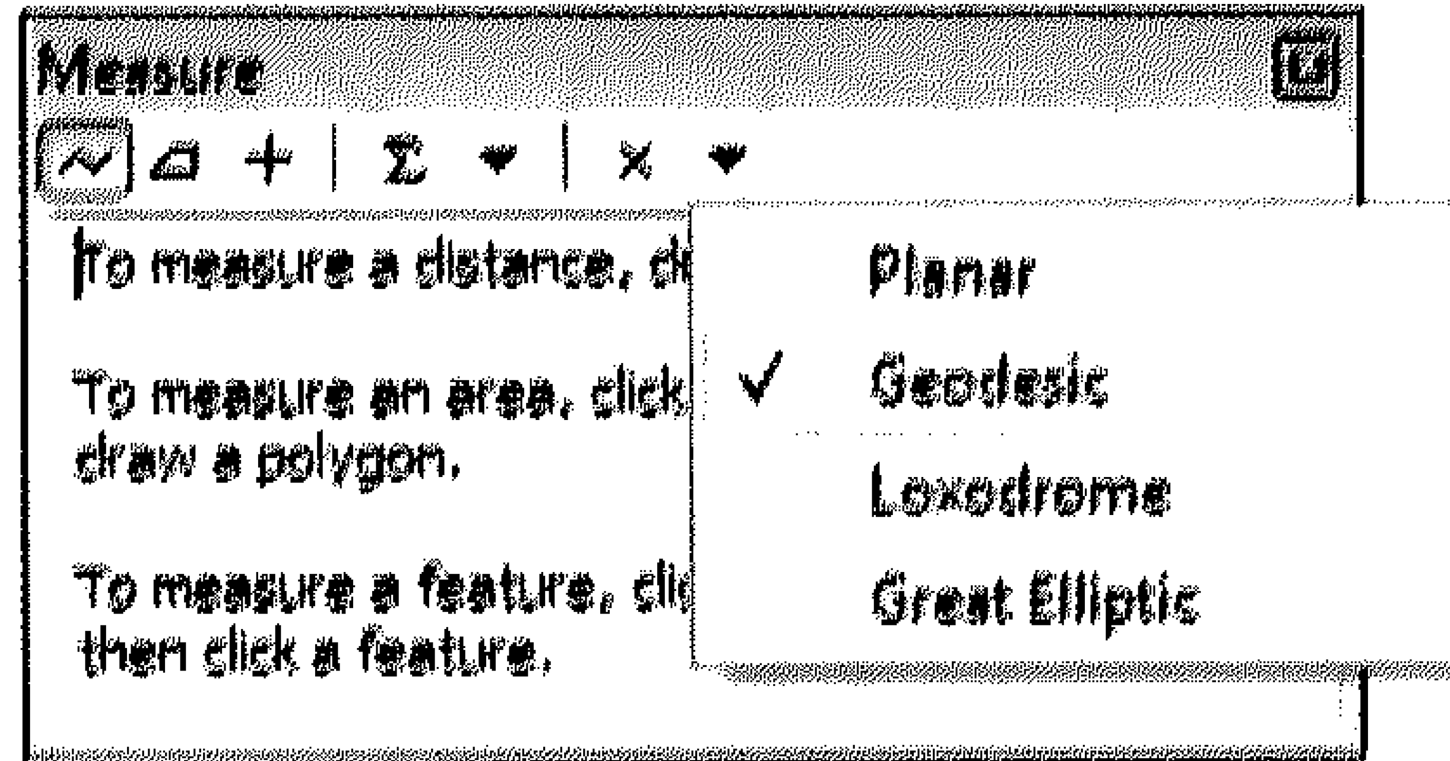
ومن تعريف الاتجاه، يمكن تعريف **خط الاتجاه الثابت** (loxodrome or rhumb line) بخط يقطع جميع خطوط الطول بالاتجاه ذاته.



الشكل 4-7 خط الاتجاه الثابت



يمكن في ArcGIS قياس المسافات بين نقطتين حسب نظام الإحداثيات المرجعي الحالي باستخدام الزر Measure في شريط الأدوات Tools. ويمكن تحديد طريقة قياس المسافة ووحدة القياس من صندوق حوار Measure كما يلي:



الشكل 4-8 صندوق حوار Measure في ArcGIS

- **مستوي** (planar): قياس المسافة بين نقطتين على نظام مرجعي للإحداثيات المُسْقطة باستخدام علاقات رياضية ديكارتية ثنائية الأبعاد.
- **جيوديسي** (geodesic): قياس المسافة الأقصر بين نقطتين على طول الدائرة العظمى المارة في هاتين النقطتين.
- خط الاتجاه الثابت (loxodrome): قياس المسافة بين النقطتين على طول خط الاتجاه الثابت.

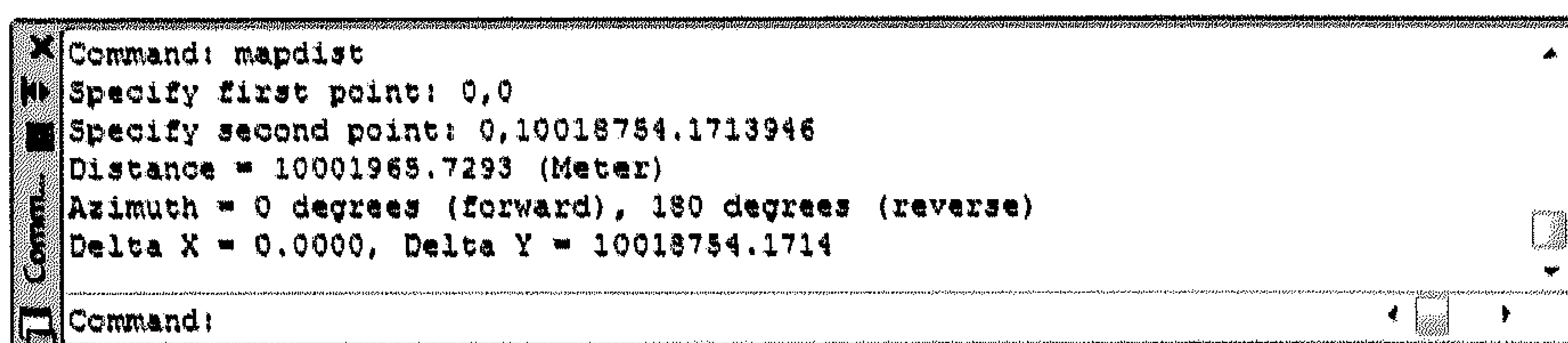


يمكن قياس المسافات بين نقطتين في AutoCAD Map 3D باستخدام الأمر DIST ولكن نتيجة القياس تكون باستخدام علاقات رياضية ديكارتية ثنائية الأبعاد حسب نظام الإحداثيات المرجعي الحالي.

في المقابل يتوفر الأمر Geo Distance لقياس المسافات بين نقطتين على طول الدائرة العظمى المارة بينهما:

Ribbon: Analyze > Geo Tools > Geo Distance
Command: MAPDIST

يعرض AutoCAD Map 3D النتيجة في نافذة الأوامر، والمثال التالي يبين المسافة والاتجاه بين بين خط الاستواء والقطب الشمالي على طول خط الزوال الرئيسي:

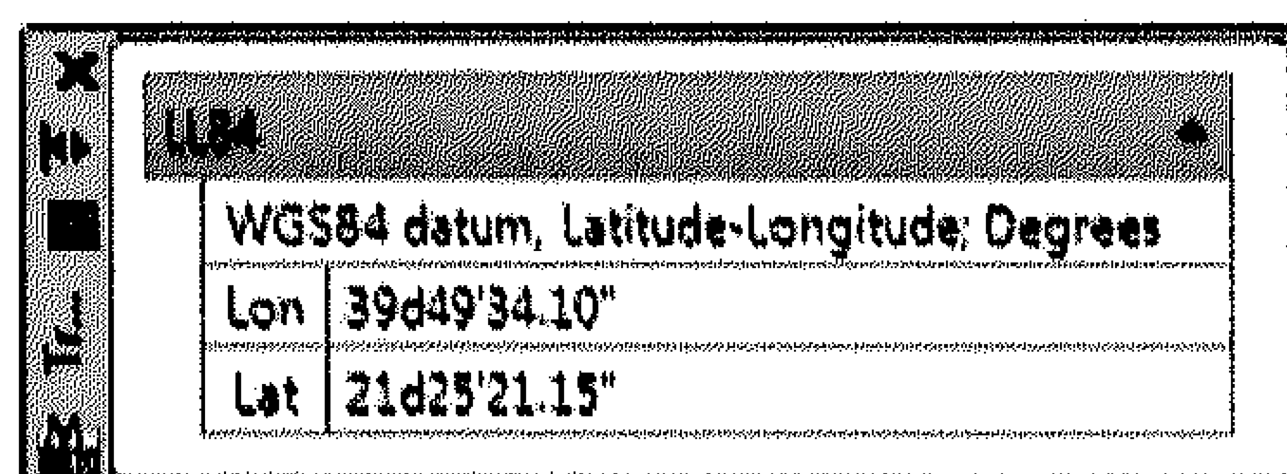


الشكل 4-9 قياس المسافات الجيوديسية في AutoCAD Map 3D

علماً بأنه يمكن إدخال الإحداثيات الجغرافية بأية صيغة وبالاستناد إلى أي نظام إحداثيات مرجعي باستخدام أداة تعقب الإحداثيات (Coordinate Track) التي يمكن الوصول إليها من:

Ribbon: Analyze > Geo Tools > Coordinate Track

يبين الشكل التالي إدخال الإحداثيات الجغرافية في صيغة الدرجة الدقيقة الثانية في نظام الإحداثيات المرجعي WGS 84 في أداة تعقب الإحداثيات:



الشكل 4-10 أداة تعقب الإحداثيات في AutoCAD Map 3D



يمكن في Spatial Oracle استخدام الوظيفة SDO_GEOM.SDO_DISTANCE لحساب المسافة بين نقطتين. يعيد Oracle Spatial المسافة على طول الدائرة العظمى المارة في النقطتين. المثال التالي يوضح كيفية استخدام SDO_GEOM.SDO_DISTANCE لحساب المسافة بين خط الاستواء والقطب الشمالي على طول خط الزوال الرئيسي بالكيلومتر وبتفاوت (tolerance) 0.05 على المجسّم الإهليلجي WGS 84:

```
SQL> SELECT SDO_GEOM.SDO_DISTANCE(
  2   SDO_GEOMETRY( 2001, 4326, SDO_POINT_TYPE(0,0, NULL), NULL, NULL),
  3   SDO_GEOMETRY( 2001, 4326, SDO_POINT_TYPE(0,90, NULL), NULL, NULL),
  4   0.05,
  5   'unit=KM')
  6  FROM dual;

SDO_GEOM.SDO_DISTANCE(SDO_GEOMETRY(2001, 4326, SDO_POINT_TYPE (0, 0, NULL),
NULL, NULL)
---------------------------------------------------------------------------
10001.9657
```

4.5. تحديد اتجاه القبلة

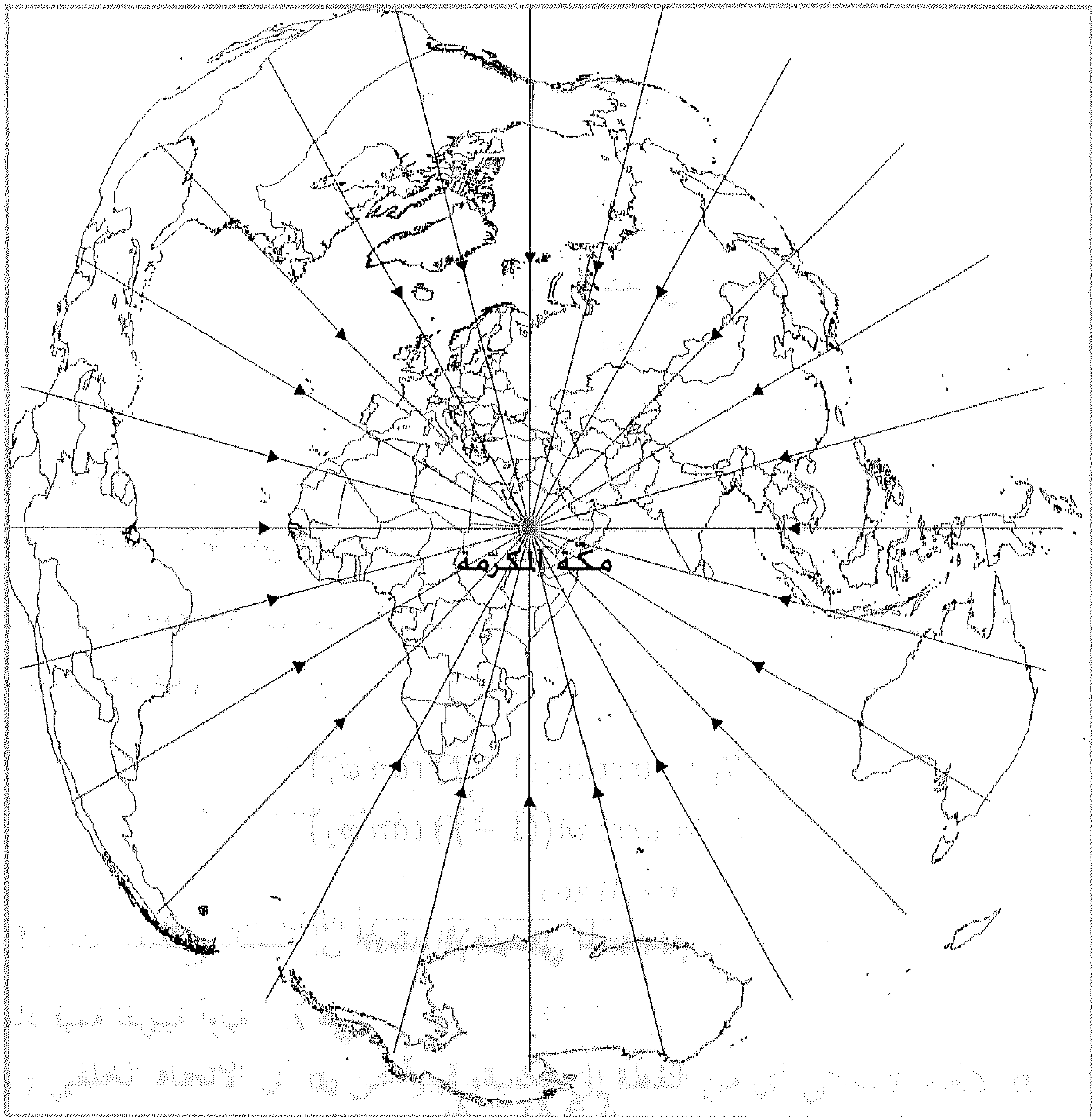
ثمة خلاف بين مسلمي أمريكا الشمالية على تحديد اتجاه القبلة، ولهذا الخلاف صلة بالطريقة التي يستخدمها كل فريق في تعريف الاتجاه. يصلي الفريق الأول باتجاه الجنوب الشرقي، ويصلي الفريق الثاني باتجاه الشمال الشرقي.

يمكن تفسير منشأ هذا الخلاف بأن الفريق الأول يعتمد على خط الاتجاه الثابت (انظر 4.4 السمت والاتجاه والمسار الأقصر) الذي يظهر كخط مستقيم على خريطة تعتمد إسقاط ميركاتور، لكنه في الحقيقة قطعة من حلزون كروي، مع العلم أن هذا الإسقاط لا يحافظ على الاتجاه ويتسبب بتشوه كبير في نقطة القطب التي تظهر مساوية من حيث الطول لخط الاستواء ولا تسمح بفهم اتجاه القبلة خصوصاً في أمريكا الشمالية.

يعتمد الفريق الثاني على الاتجاه الذي تصنعه المسافة الأقصر التي تصل بين موقع الصلاة والكعبة المشرفة، وكما كما مر معنا في بحث السمت والاتجاه والمسار الأقصر فإن المسافة الأقصر بين

نقطتين على سطح الأرض هي قطعة من الدائرة العظمى المارة في تلك النقطتين.

إن خط الاتجاه الثابت الذي يمكن الحصول عليه برسم خط مستقيم يصل بين نقطتين على خريطة تعتمد إسقاط ميركاتور لا يعني أنه الاتجاه الصحيح بينهما، فقد كان الهدف الأصلي من هذا الإسقاط إرشاد السفن في أعالي البحار المظلمة، حيث تحافظ السفينة على انحراف ثابت عن الشمال كلما تقدمت مع الحاجة إلى إعادة توجيه السفينة عدة مرات بحيث تحافظ على ذات الانحراف عن الشمال في كل مرة إلى أن تصل إلى وجهتها، وخط الاتجاه الثابت ليس المسار الأقصر بين نقطتين، بل يمكن أن تصل الزيادة في طوله مقارنة بالمسار الأقصر إلى 30%.



الشكل 4-11 اتجاه القبلة الصحيح من مناطق مختلفة

الخلاصة: إذا قذف لاعب كرة قدم ذو قدرات خارقة الكرة من نقطة ما في أمريكا الشمالية وأرادها أن تسقط في مكة المكرمة فعليه أن يقذفها على طول الدائرة العظمى المارة بين تلك النقطة ومكة لأنه الاتجاه الوحيد إلى مكة، وأما خط الاتجاه الثابت بين تلك النقطة ومكة فيؤدي إلى وقوع الكرة في مكان آخر، مثل المحيط الأطلسي.

يمكن البرهنة على أن الاتجاه الذي يذهب إليه الفريق الثاني اتجاه صحيح بإنشاء خريطة تعتمد الإسقاط السمتي (انظر 4.10.1 الإسقاط السمتي) بحيث تكون الكعبة المشرفة في مبدأ الإسقاط، ما يسمح بتحديد اتجاه القبلة ببساطة بوصل الموقع المطلوب من أي منطقة من العالم بالكعبة، لأن الإسقاط السمتي يحافظ على الاتجاه من أي نقطة باتجاه مبدأ الإسقاط.

تدل هذه الخريطة بوضوح على أن اتجاه القبلة في أمريكا الشمالية باتجاه الشمال الشرقي وليس باتجاه الجنوب الشرقي، بل يكون اتجاهها إلى الشمال تماماً في المنطقة الحدودية بين كندا وولاية ألاسكا.

يمكن أيضاً البرهنة على أن اتجاه القبلة الذي يذهب إليه الفريق الثاني اتجاه صحيح عن طريق معادلات الاتجاه العامة التي تقوم بحساب **الاتجاه الابتدائي** (initial bearing) الذي يسمى أيضاً **السمت الأمامي** (forward azimuth) من نقطة في أمريكا الشمالية إحداثياتها (φ1, λ1) إلى الكعبة المشرفة (φ2, λ2) باستخدام صيغ مختلفة من قوانين المثلثات الكروية.

من هذه المعادلات العلاقة العكسية في معادلات Vincenty لحساب المسافة والاتجاه بين نقطتين على سطح المجسّم الإهليلجي إلى مسافة تصل حتى 20,000 كلم بدقة الملّيمتر.

في معادلات Vincenty يتم أولاً حساب زاوية العرض المختصرة (انظر 3.3.2 النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية):

$$U_1 = arctan\big((1-f)\,tan\,\varphi_1\big)$$
$$U_2 = arctan\big((1-f)\,tan\,\varphi_2\big)$$

حيث f ثابت التفلطح بالنسبة إلى المجسّم الإهليلجي المستخدم.

وباعتماد قيمة تقريبية أولية لـ λ هي:

$$\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

نقوم بإجراء الحسابات التالية وصولاً إلى قيمة تقريبية جديدة لـ λ:

$$\sin\sigma = \sqrt{(\cos U_2 \sin\lambda)^2 + (\cos U_1 \sin U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos\lambda)^2}$$

$$\cos\sigma = \sin U_1 \sin U_2 - \cos U_1 \cos U_2 \cos\lambda$$

$$\sigma = \arctan\left(\frac{\sin\sigma}{\cos\sigma}\right)$$

$$\sin\alpha = \frac{\cos U_1 \cos U_2 \sin\lambda}{\sin\sigma}$$

$$\cos^2\alpha = 1 - \sin^2\alpha$$

$$\cos(2\sigma_m) = \cos\sigma - \frac{2\sin U_1 \sin U_2}{\cos^2\alpha}$$

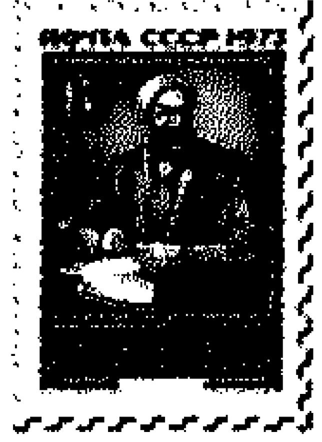
$$C = \frac{f}{16}\cos^2\alpha\left(4 + f(4 - 3\cos^2\alpha)\right)$$

$$\lambda = L + (1 - C)f\sin\alpha\Big(\sigma + C\sin\sigma\left(\cos(2\sigma_m) + C\cos\sigma\left(-1 + 2\cos^2(2\sigma_m)\right)\right)\Big)$$

تسمح القيمة التقريبية الجديدة لـ λ بحساب قيمة تقريبية جديدة أخرى بإعادة تنفيذ المعادلات أعلاه، وهكذا إلى أن يصبح الفرق بين قيمتين متتاليتين لـ λ مهملاً أو يصل الفرق بينهما إلى درجة الدقة المطلوبة. نقوم بعد ذلك بحساب الاتجاه الأولي أي من النقطة الأولى إلى النقطة الثانية:

$$\alpha_1 = \arctan\left(\frac{\cos U_2 \sin\lambda}{\cos U_1 \sin U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos\lambda}\right)$$

حيث α_1 الاتجاه الابتدائي أي من النقطة إلى الكعبة، تمييزاً عن α_2 أي **الاتجاه الخلفي** (back bearing) أو **السمت الخلفي** (backward azimuth) من الكعبة إلى النقطة.



اهتم العلماء العرب والمسلمون بحساب المثلثات الكروية نظراً لمعرفتهم بكروية الأرض وحاجتهم إلى تحديد القبلة وغيرها من قياس الاتجاهات والمسافات بين الأماكن على سطحها المنحني، فكان ذلك سبباً من أسباب تطويرهم حساب المثلثات الكروية. ومن العلماء العرب الذين اهتموا بالمثلثات الكروية البتاني (Albategnius) (858 – 929 م) الذي استنبط القانون الأساسي لاستخراج مساحة المثلثات الكروية، وأبو الوفاء البوزجاني (940 – 998 م) وهو أول من أثبت القانون العام للجيوب في المثلثات الكروية، والحسن بن الهيثم (Alhazen or Alhacen) (965 – 1040 م) الذي استخدم نظرية ظل التمام للمثلثات الكروية، ونصير الدين الطوسي (1201 – 1274 م) وهو أول من قدم المتطابقات المثلثية للمثلث الكروي قائم الزاوية، وغيرهم.

من العلماء الذين ألفوا جداول لحساب القبلة باستخدام حساب المثلثات الكروية شمس الدين الخليلي (1365 م) وهو فلكي من دمشق، ويتضمن جدوله اتجاه القبلة لكل خطوط الطول والعرض. وقد أعاد نشر جدوله Denis Roegel في العام 2008 وأكمل حسابات القبلة لبقية المناطق من العالم. (Roegel, 2008)

مشروع:

يراد حساب اتجاه القبلة من نقطة في جبل القديس إلياس (Mount Saint Elias) على الحدود بين كندا وولاية ألاسكا على المجسّم الإهليلجي WGS 84، علماً بأن إحداثيات النقطة:

$$\varphi_1 = 60°17'37.15"N$$
$$\lambda_1 = 140°55'43.81"W$$

علماً بأن إحداثيات الكعبة المشرفة:

$$\varphi_2 = 21°25'21.15"N$$
$$\lambda_2 = 39°49'34.10"E$$

الحل:

ثابت التفلطح بالنسبة للمجسّم الإهليلجي WGS 84:

$$f = 0.003353$$

نقوم بحساب زاويتي العرض المختصرتين:

$$U_1 = 1.050876$$
$$U_2 = 0.372753$$

من المعادلات السابقة نقوم بإيجاد القيمة التقريبية النهائية لـ λ:

$$\lambda = 3.15479892649847$$

وبتطبيق المعادلة:

$$\alpha_1 = arctan\left(\frac{-0.012299016}{0.989119989}\right) = -0.712396281720511\ deg$$

أي:

$$\alpha_1 = 359.28760371828° = 359°17'\,15.37''$$

ما يعني أن القبلة من تلك النقطة تقع إلى الشمال تماماً، حيث قيمة الاتجاه معطاة بالنسبة إلى الشمال الحقيقي (true north) (انظر 4.3 اتجاه الشمال)، كما في الجدول:

القيمة	الاتجاه
0 = 360	الشمال
45	الشمال الشرقي
90	الشرق
135	الجنوب الشرقي
180	الجنوب
225	الجنوب الغربي
270	الغرب
315	الشمال الغربي

الجدول 4-3 قيم الاتجاه (bearing) بالنسبة إلى الشمال الحقيقي



تتوفر مجموعة من الأدوات الفورية لحساب الاتجاه بين نقطتين بالاعتماد على معادلات Vincenty، منها الأداة المتوفرة على موقع Geoscience Australia:

http://www.ga.gov.au/geodesy/datums/vincenty_inverse.jsp

من ناحية أخرى، تتوفر أيضاً معادلات تعتمد التقريب الثاني أي الكرة، وهي معادلات أكثر سهولة، منها المعادلة التالية (Williams):

$$\alpha_1 = arctan\left(\frac{cos\,\varphi_2\,sin(\lambda_2-\lambda_1)}{cos\,\varphi_1\,sin\,\varphi_2\; - sin\,\varphi_1\,cos\,\varphi_2\,cos(\lambda_2-\lambda_1)}\right)$$

مشروع:

يراد حساب اتجاه القبلة من النقطة المذكورة في المثال السابق.

الحل:

من المعادلة السابقة:

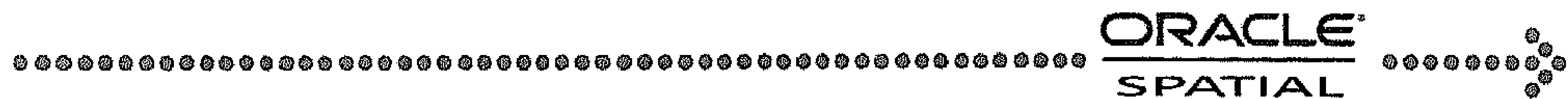
$$\alpha_1 = arctan\left(\frac{-0.013176418}{1.062931999}\right) = -0.710219\,deg$$

أي:

$$\alpha_1 = 359.2898° = 359°17'\,23.21''$$

في AutoCAD Map 3D يمكن استخدام الأمر MAPDIST الذي تم شرح خطوات استخدامه في الفقرة السابقة (انظر 4.4 السمت والاتجاه والمسار الأقصر) لقياس المسافة بين النقطتين وعرض الاتجاهين الابتدائي والخلفي. المثال التالي يقوم بحساب اتجاه القبلة من النقطة المذكورة في المثال السابق:

```
Command: MAPDIST
Specify first point: -15688157.11993851, 6711861.38254936
Specify second point: 4433425.40536562, 2384746.44509291
Distance = 10947019.62443843 (Meter)
Azimuth = 359.29084175 degrees (forward), 0.37828874 degrees (reverse)
```



يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي BEARING_TILT_FOR_POINTS في حزمة SDO_UTIL لحساب الاتجاه بين نقطتين. المثال التالي يوضح كيفية استخدام Oracle Spatial لحساب الاتجاه إلى القبلة من النقطة السابقة في WGS 84:

```
SQL> SET SERVEROUT ON;
SQL> DECLARE
  bearing NUMBER;
  tilt    NUMBER;
 BEGIN
  SDO_UTIL.BEARING_TILT_FOR_POINTS(
   SDO_GEOMETRY(2001, 4326,
    SDO_POINT_TYPE(-140.9288, 60.2937, 0), NULL, NULL), -- start_point
   SDO_GEOMETRY(2001, 4326,
    SDO_POINT_TYPE(39.8261, 21.4225, 0), NULL, NULL), -- end_point
    0.05,  --tolerance
    bearing,
    tilt);
  DBMS_OUTPUT.PUT_LINE('Bearing = ' || bearing * 180 / 3.141592653589793238
4626433832795);
  DBMS_OUTPUT.PUT_LINE('Tilt = ' || tilt * 180 / 3.141592653589793238462643
3832795);
 END;
 /
Bearing = 359.291171303329724372758392303993093017
Tilt = 0
PL/SQL procedure successfully completed.
```

تبين نتيجة تنفيذ هذا البرنامج أن اتجاه القبلة من نقطة على الحدود بين كندا وولاية ألاسكا على المجسّم الإهليلجي WGS 84 يقع إلى الشمال تماماً:

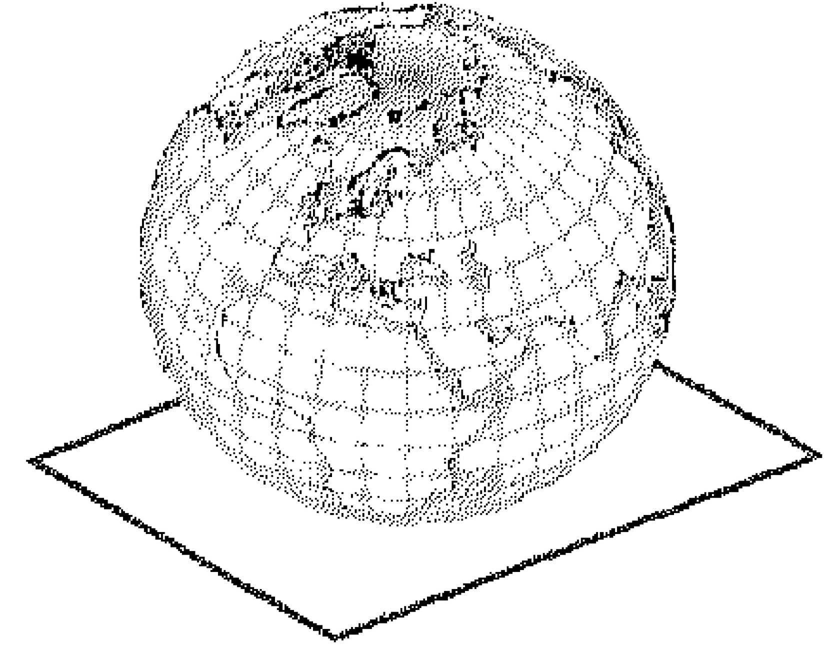
$$\alpha_1 = 359°17'\,28.21''$$

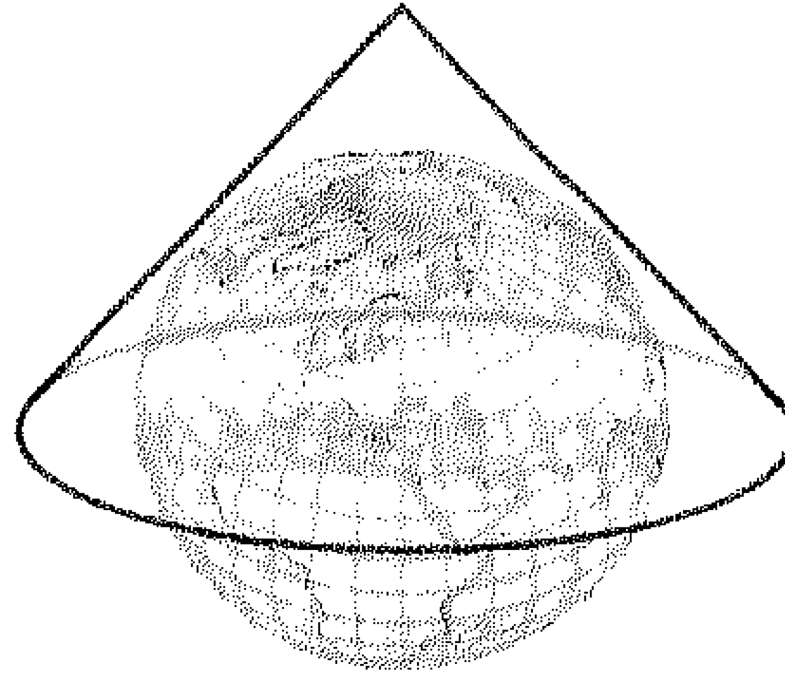
4.6. تصنيف أنواع الإسقاط

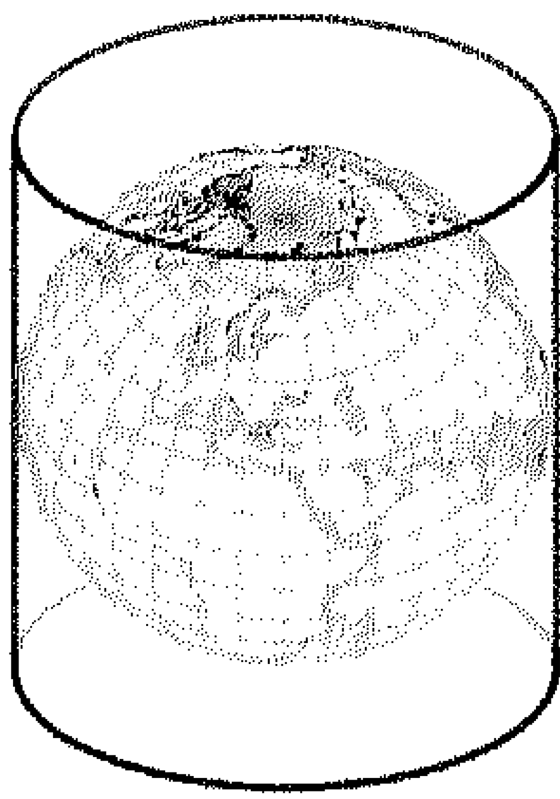
يمكن تصنيف أنواع الإسقاط بعدة طرق، منها حسب سطح الإسقاط. يكون سطح الإسقاط **قابلاً للنشر** (developable) من دون مطّ أو تمزق أو انكماش وتُعدّ سطوح الإسقاط المستوية والمخروطية والأسطوانية أكثر سطوح الإسقاط شيوعاً، ومنها تصنف أنواع الإسقاط التالية:

- الإسقاط السمتي (azimuthal)
- الإسقاط المخروطي (conical)
- الإسقاط الأسطواني (cylindrical)

ويضاف إلى هذه الأنواع الرئيسية الإسقاط **السمتي الزائف** (pseudoazimuthal) **والمخروطي الزائف** (pseudoconical) **والمخروطي المتعدد** (polyconic) **والأسطواني الزائف** (pseudocylindrical).


إسقاط سمتي

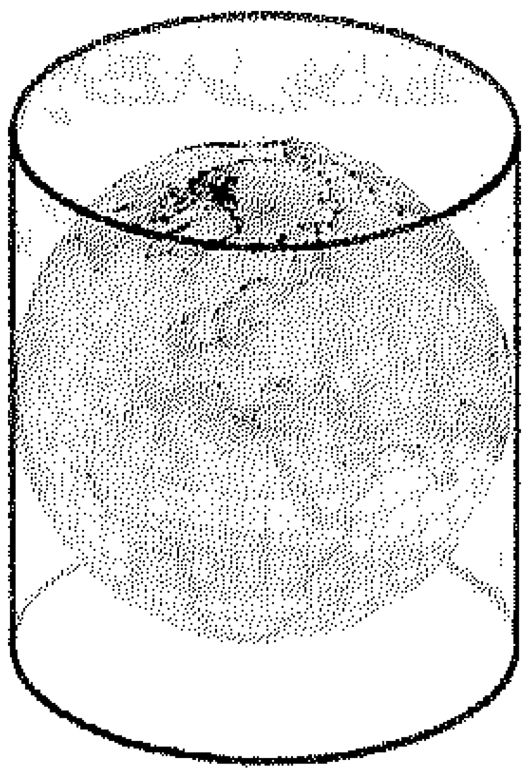
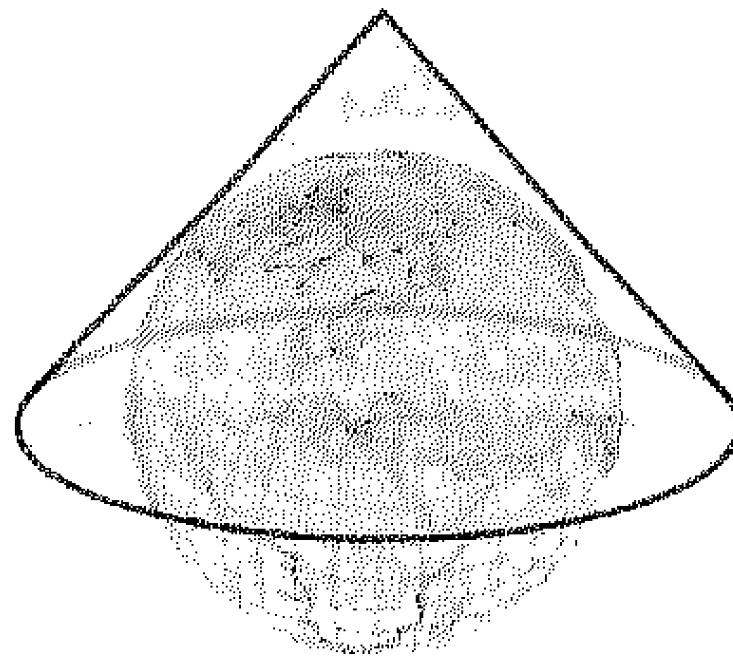
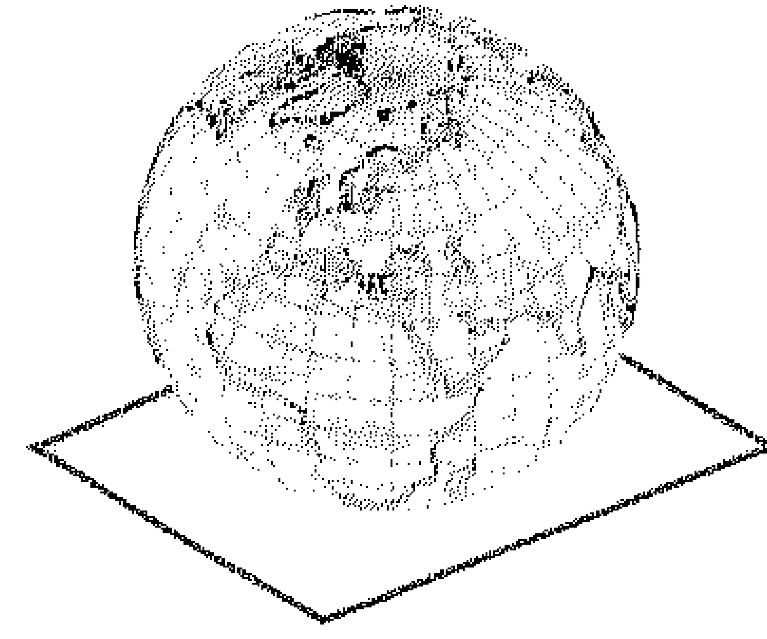

إسقاط مخروطي


إسقاط أسطواني

الشكل 4-12 أنواع الإسقاط حسب سطح الإسقاط

ثمة علاقة بين شكل المنطقة الجغرافية وبين سطح الإسقاط، حيث يستخدم الإسقاط السمتي مع المناطق شبه الدائرية والإسقاط المخروطي مع المناطق شبه المثلثة والإسقاط الأسطواني مع المناطق شبه المستطيلة.

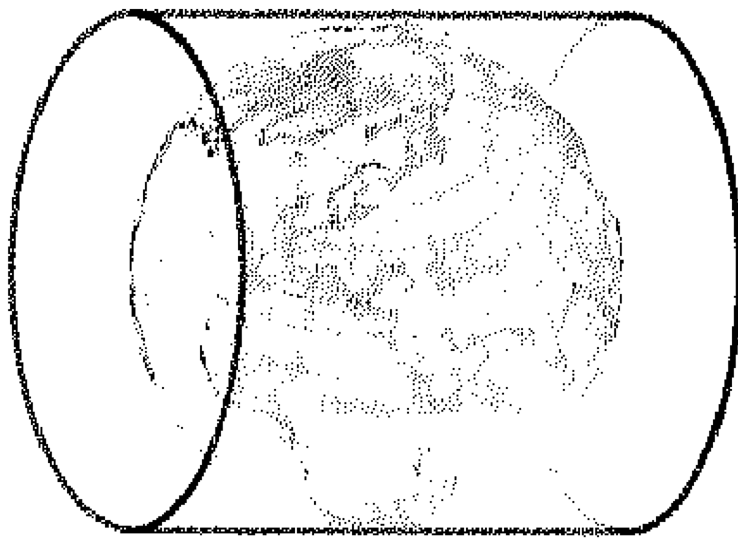
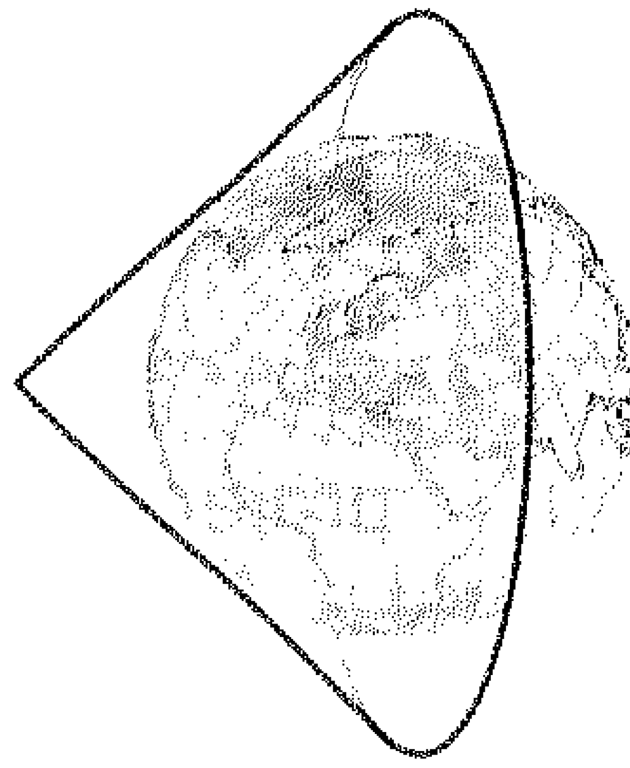
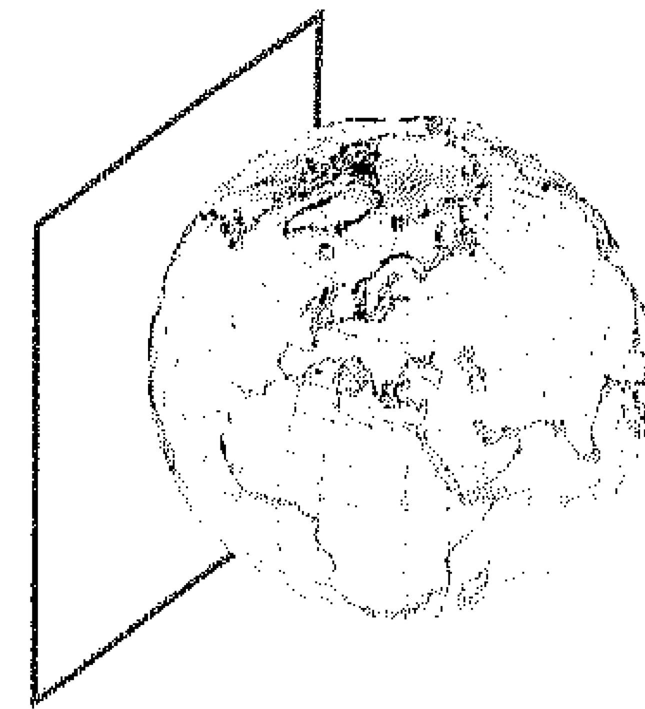
يكون سطح الإسقاط بالنسبة للسطح المرجعي في **منظر قائم** (normal aspect)، أو **منظر مستعرض** (transverse aspect) أو **منظر مائل** (oblique aspect)، كما في الشكل أدناه.

إسقاط أسطواني
قائم

إسقاط مخروطي
قائم

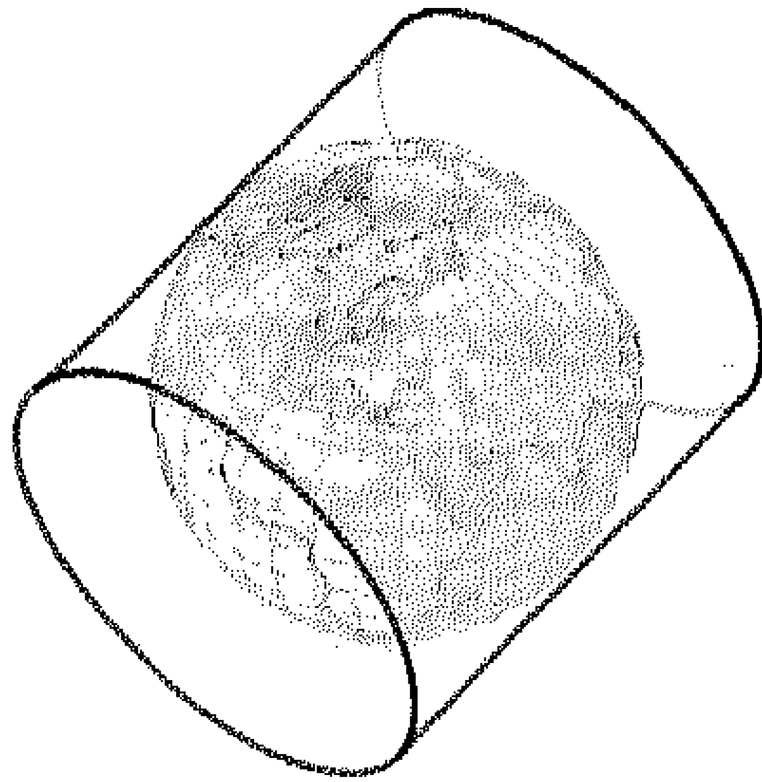
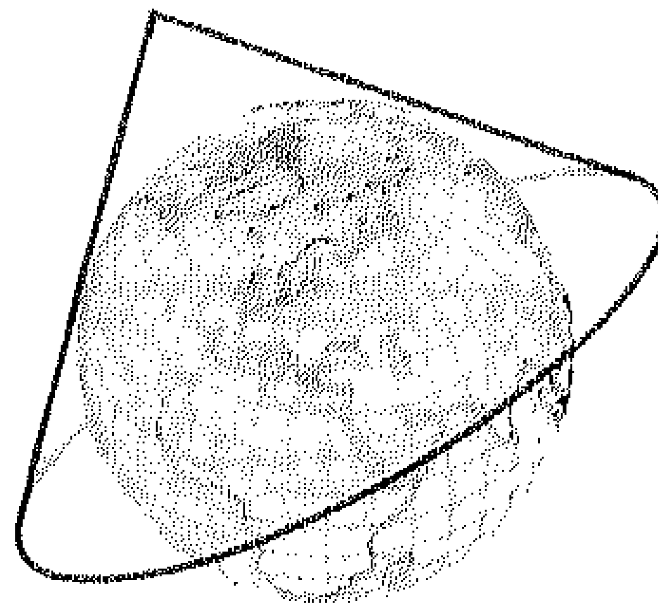
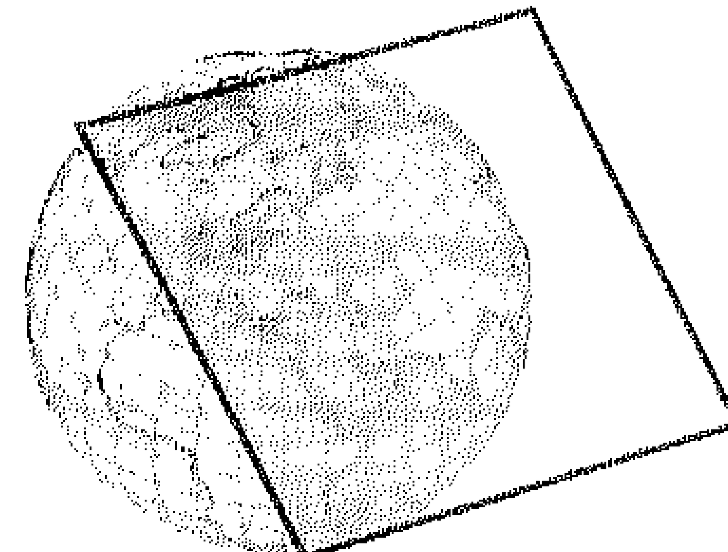
إسقاط سمتي
قائم

إسقاط أسطواني
مستعرض

إسقاط مخروطي
مستعرض

إسقاط سمتي
مستعرض

إسقاط أسطواني
مائل

إسقاط مخروطي
مائل

إسقاط سمتي
مائل

الشكل 4-13 أوضاع سطح الإسقاط

في الإسقاط السمتي يسمى المنظر القائم أيضاً **منظراً قطبياً** (polar aspect) نظراً لأن نقطة التماس هي القطب، كما يسمى المنظر المستعرض أيضاً **منظراً استوائياً** (equatorial aspect) نظراً لأن نقطة التماس تقع على خط الاستواء.

من ناحية أخرى يكون سطح الإسقاط إما مماساً (tangent) للسطح المرجعي أو **قاطعاً** (secant) له.

ما من إسقاط يحافظ على جميع الخصائص معاً، ويمكن تصنيف أنواع الإسقاط من ناحية أخرى حسب الخصائص التي يحافظ عليها:

- **الإسقاط مُساوي المساحة** (equal-area projection, equiareal projection, equivalent projection, or authalic projection): يحافظ هذا الإسقاط على المساحة، بحيث تكون النسبة بين مساحتي أي منطقتين على الخريطة هي ذات النسبة بين مساحتيهما في الواقع.
- **الإسقاط مُساوي المسافة** (equidistant projection): يحافظ هذا الإسقاط على المسافة بحيث تكون النسبة بين المسافة على الخريطة والمسافة في الواقع صحيحة بين أي نقطتين على خطوط معينة في الخريطة تسمى **الخطوط القياسية** (standard lines)، وليس بين أي نقطتين عشوائيتين على الخريطة.
- **الإسقاط المُطابق** (conformal projection) أو الإسقاط **صحيح الشكل** (orthomorphic projection): إسقاط يحافظ على الزوايا كما يحافظ على الأشكال الصغيرة محلياً حول أي نقطة في الخريطة تقريباً. الأبنية مثلاً أشكال صغيرة وبالتالي يحافظ الإسقاط المطابق على زواياها وشكلها فلا تبدو مستطيلة أو منحرفة، ولذلك يستخدم الإسقاط المطابق في الخرائط الطوبوغرافية والخرائط ذات المقياس الكبير.

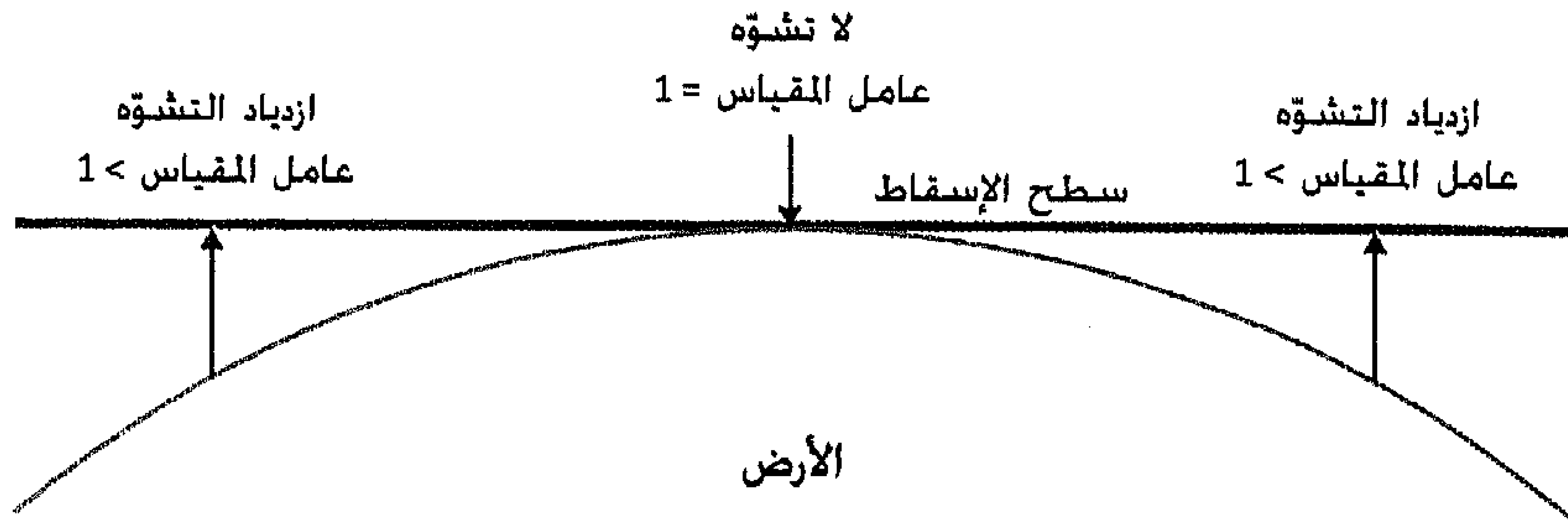
الزاوية التي يصنعها خطان يتقاطعان على الخريطة والزاوية التي يصنعها ذات الخطين على السطح المرجعي زاويتان متطابقتان، ومنه اسم الإسقاط. وعلى وجه الخصوص تتقاطع خطوط العرض والطول بزاوية قائمة، لكن ليس من الضروري أن تكون هذه الخطوط مستقيمات. المطابقة خصيصة (مفرد خصائص) محلية ولا يمكن المحافظة على الزوايا، وبالتالي الأشكال، في مساحة كبيرة. لأن الإسقاط المطابق لا يمكنه المحافظة على المساحات، لا يستخدم هذا الإسقاط في الخرائط الإحصائية التي تتطلب مقارنة الظواهر حسب توزعها ومساحتها.

- **الإسقاط السمتي** (azimuthal): إسقاط يحافظ على الاتجاه. يمكن للإسقاط السمتي أن يحافظ على خصيصة أخرى بالإضافة إلى الاتجاه، وعندئذ يكون إسقاطاً سمتياً مُساوي المساحة، أو إسقاطاً سمتياً مُساوي المسافة، أو إسقاطاً سمتياً مطابقاً.

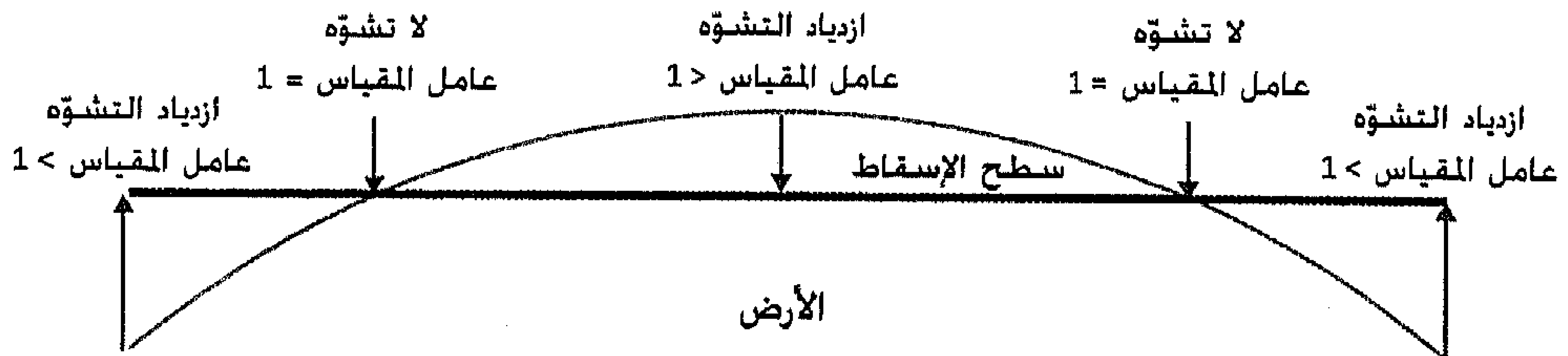
4.7. المحافظة على المقياس

مقياس الخريطة (map scale) هو نسبة المسافة بين نقطتين على الخريطة والمسافة الحقيقية بينهما في الواقع. تحافظ الكرة والمجسّم الإهليلجي، وهما مجسّمان ثلاثيا الأبعاد، على ثبات المقياس

لأنهما يشبهان شكل الأرض، ولكن المسافات تتعرض إلى تشوّه بمجرد إسقاطها على سطح مستوٍ مهما كانت المعالم صغيرة، وبالتالي لا يمكن المحافظة على المقياس بصورة ثابتة في جميع أنحاء الخريطة. بدلاً من ذلك توفر أنواع الإسقاط نقطة واحدة أو خطاً قياسياً واحداً أو خطين قياسين بحد أقصى يكون فيها المقياس ثابتاً صحيحاً.



الشكل 4-14 المحافظة على المقياس في الإسقاط المماس



الشكل 4-15 المحافظة على المقياس في الإسقاط القاطع

إذاً، تسمى الخطوط التي يكون عندها المقياس ثابتاً وصحيحاً خطوطاً قياسية، سواء كانت مستقيمة أو منحنية. ومن البدهي أن الخطوط التي يمس سطح الإسقاط فيها السطح المرجعي (المجسّم الإهليلجي أو الكرة) أو يقطعه بها خطوط قياسية يكون عندها المقياس ثابتاً وصحيحاً.

يسمى مقياس الخريطة في هذه الخطوط **المقياس الصحيح** (true scale) لأنها تحافظ على صحة وثبات **المقياس الرئيسي** (principal scale) للخريطة فيها، بينما يسمى المقياس على طول الخطوط الأخرى في بقية الخريطة **المقياس الفعلي** أو **المقياس الخاص** (actual scale or particular scale) لهذه الخطوط، أو **مقياس النقطة** (point scale) إذا كانت نقطة، ويختلف في الخريطة من ناحية إلى أخرى.

تسمى النسبة بين المقياس الفعلي على طول خط L والمقياس الرئيسي للخريطة **عامل المقياس** (scale factor: SF) على طول L:

$$SF_L = \frac{Actual\ Scale_L}{Principal\ Scale_{Map}}$$

إذا كان المقياس الرئيسي لخريطة 1:500,000 مثلاً، يكون عامل المقياس على طول الخط القياسي 1، لأن المقياس الفعلي يساوي المقياس الرئيسي فيهما، بينما يكون عامل المقياس أكبر أو أصغر من 1 فيما عدا ذلك. فإذا كان المقياس الفعلي على طول خط ما في ناحية أخرى من الخريطة 1:400,000، يكون عامل المقياس فيه إذاً 1.25.

وبذات الطريقة، إذا كان عامل المقياس على طول خط ما من الخريطة 0.9996، وقيست مسافة بين نقطتين على طول هذا الخط وتم تحويلها إلى المسافة على الأرض باستخدام مقياس الخريطة لن تمثل المسافة الحقيقية على الأرض، بل ستساوي 99.96٪ فقط منها.

4.8. كيف يعمل الإسقاط

ذكرنا سابقاً أن الإسقاط يكون منظورياً أو باستخدام معادلات رياضية لا علاقة لها بالأساليب الهندسية أو الفيزيائية. بغض النظر عن أسلوب التحويل، يعرّف الإسقاط بمجموعتين من معادلات التحويل، الأولى هي **العلاقة المباشرة** (direct relation) التي تقوم بتحويل الإحداثيات ثلاثية الأبعاد من السطح المرجعي إلى إحداثيات ثنائية الأبعاد على سطح الإسقاط، والثانية هي **العلاقة العكسية** (inverse relation) التي تقوم بتحويل عكسي. وللعلاقة العكسية تطبيقات مهمة فهي تمكننا من تحويل البيانات من إسقاط إلى آخر.

يمكن تعريف معادلات التحويل بأنها علاقة بين إحداثيات (φ, λ) نقاط السطح المرجعي وبين إحداثيات (x, y) نقاط سطح الإسقاط. وتأخذ العلاقة المباشرة هذا الشكل:

$$x = f_1(\varphi\,,\lambda)$$
$$y = f_2(\varphi,\lambda)$$

بينما تأخذ العلاقة العكسية الشكل:

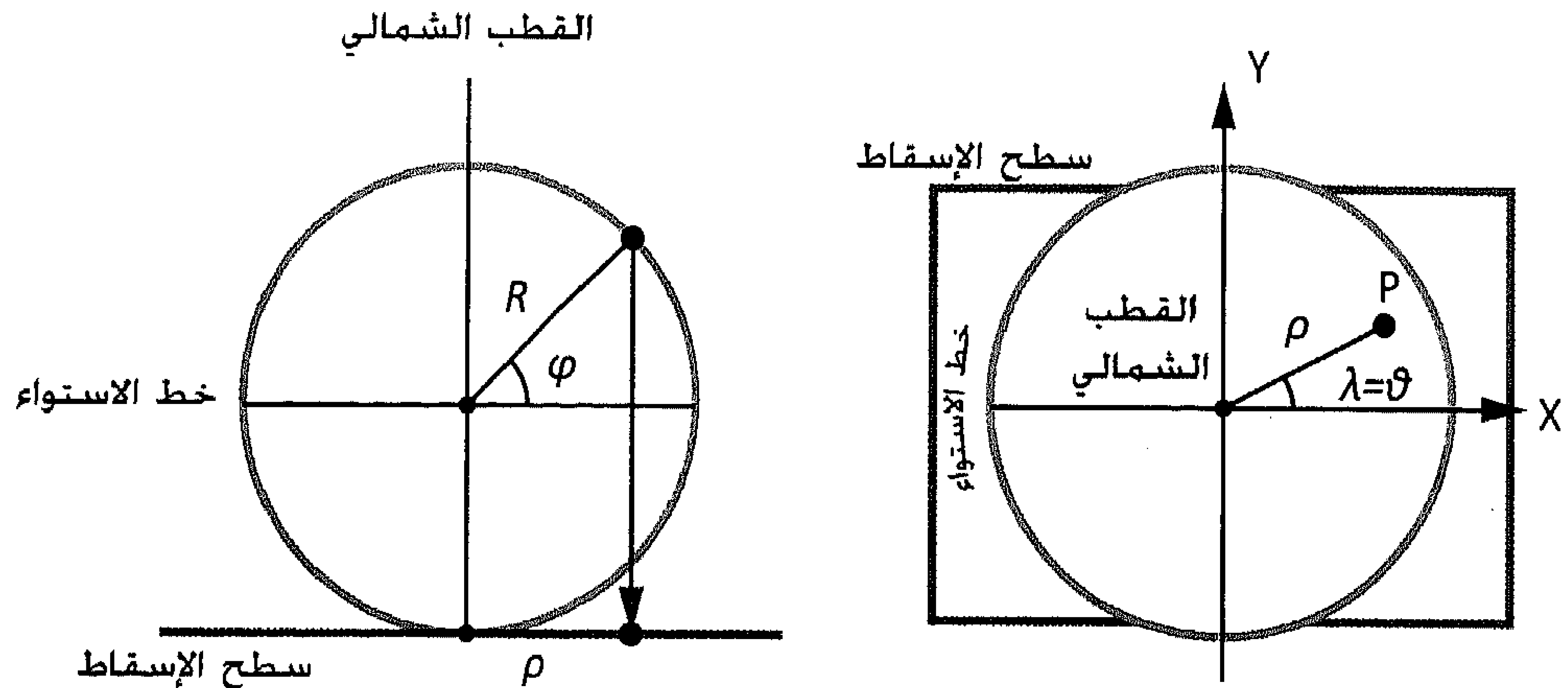
$$\varphi = f_1(x\,,y)$$
$$\lambda = f_2(x\,,y)$$

عندما تكون الشبكة الكارتوغرافية الناتجة من الإسقاط خطوطاً مستقيمة متعامدة، فهذا يعني أن العلاقة المباشرة من الشكل:

$$x = f_1(\lambda)$$
$$y = f_2(\varphi)$$

لنفترض أننا وضعنا كرة (السطح المرجعي الذي يمثل الأرض) نصف قطرها R على سطح مستو موازٍ لمستوي الاستواء، يمس الكرة في قطبها الجنوبي، وأن مصدراً للضوء يقع فوق القطب الشمالي على مسافة لا نهاية لها. تسقط الأشعة المتوازية من مصدر الضوء فوق نصف الكرة الشمالي راسمة النقطة P على ذلك السطح المستوي.

يمكننا تفسير الإسقاط المُعامِد السمتي هذا بما يلي:



الشكل 4-16 التفسير الرياضي للإسقاط

من قوانين المثلثات:

$$\rho\ = R\cos\varphi$$

الزاوية θ تساوي زاوية الطول:

$$\theta\ = \lambda$$

إذاً، الإحداثيات (x, y) للنقطة (φ, λ) في الإسقاط المُعامِد السمتي حسب قوانين المثلثات هي:

$$x\ = \rho\cos\theta$$
$$y\ = \rho\sin\theta$$

إن الإسقاطات المنظورية أو الهندسية التي تعتمد أسلوباً هندسياً فيزيائياً يحاكي إسقاط أشعة الضوء على السطح المرجعي بحيث ترتسم معالمه على سطح الإسقاط يمكن أن تكون محدودة، لكن تذكر أنه لا يوجد حدود لأنواع الإسقاطات التحليلية التي يمكن أن تصميمها باستخدام معادلات التحويل الرياضية، بل من المؤكد أن عدد هذه الإسقاطات لا نهاية له.

4.9. وسطاء إسقاط الخريطة

تتحدد العلاقة بين **شبكة إسقاط الخريطة** (map projection grid) وبين شبكة خطوط العرض والطول الجغرافية على المجسّم الإهليلجي من خلال طريقة الإسقاط ومجموعة من الوسطاء.

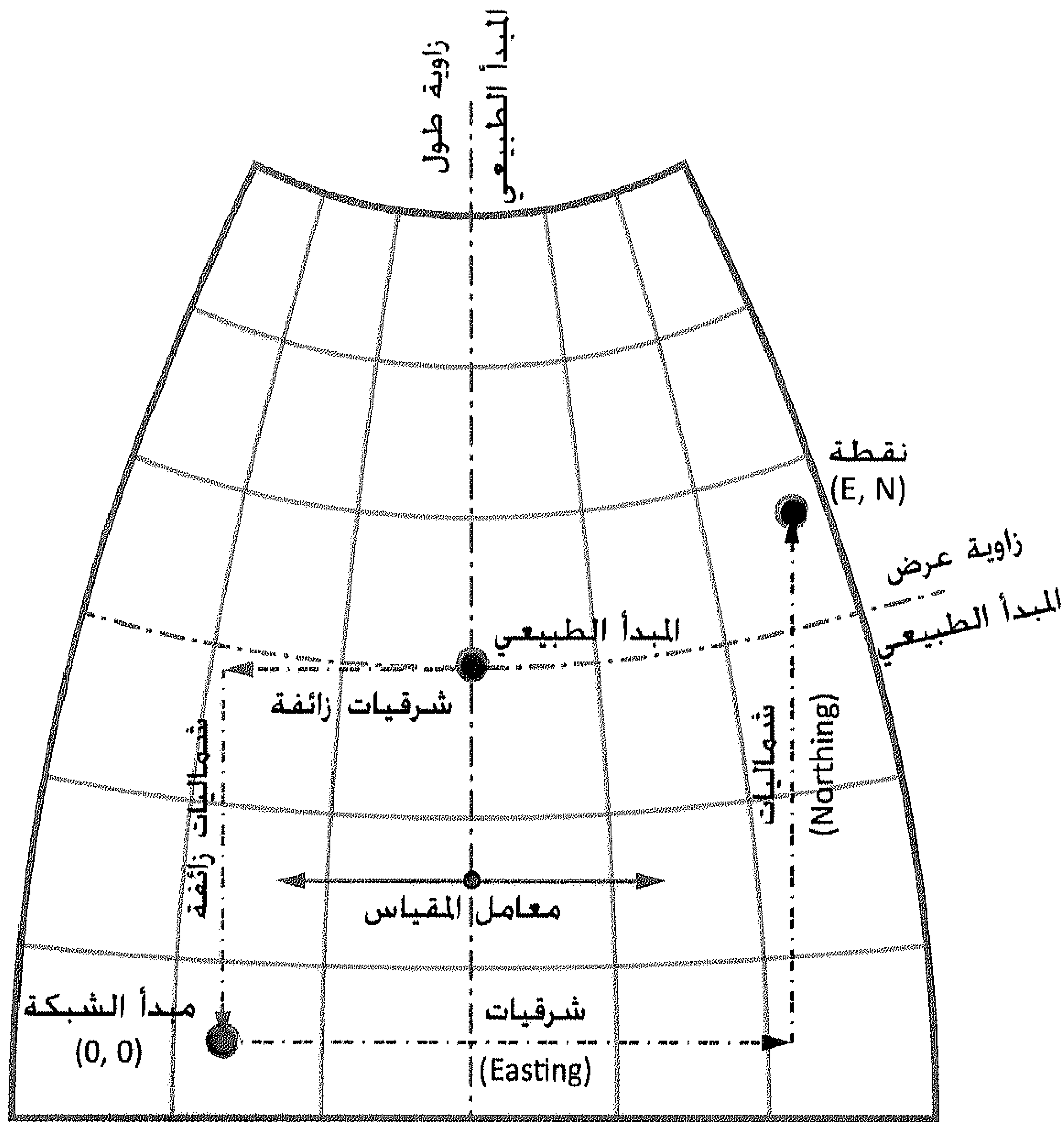
تتوفر عادة نقطة مشتركة بين سطح الإسقاط وسطح المجسّم الإهليلجي تسمى **المبدأ الطبيعي** (natural origin) وتكون مبدأ الإسقاط أو بالقرب منه، تكون إحداثياتها المُسقطة (0, 0) على الخريطة إذا كانت قيمة الإحداثيات الزائفة معدومة. يكون التشوّه معدوماً في المبدأ الطبيعي ويزداد كلما ابتعدنا عنه، ولذلك يساعد انتقاء نقطة في منتصف أراضي الدولة على تقليل التشوّه الناتج من الإسقاط قدر الإمكان.

وبما أن المبدأ الطبيعي يقع في مبدأ الإسقاط أو بالقرب منه، تظهر في الإحداثيات قيم سالبة إلى الغرب والجنوب منه، ما ينتج منه صعوبة في التعامل مع الخرائط. يمكن التخلص من القيم السالبة بتعيين **شرقيات زائفة** (false easting: FE) و**شماليات زائفة** (false northing: FN) إلى إحداثيات المبدأ الطبيعي ما يجعل قيم جميع إحداثيات المعالم في المنطقة موجبة. مثال ذلك الشرقيات الزائفة في جميع المناطق في إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي (UTM) هي 500,000 متر، بينما تكون الشماليات الزائفة 0 متر في النصف الشمالي من الكرة، و10,000,000 متر في النصف الجنوبي منها.

يمكن تعيين إحداثيات زائفة للمبدأ الطبيعي لهدف آخر هو تصغير قيم الإحداثيات، فإذا كانت جميع الشماليات في أراضي المنطقة أكبر من خمسمائة ألف متر مثلاً، يمكن اعتماد شماليات زائفة بقيمة 5,00,000- لتصغير قيم الشماليات واستخدام أرقام صغيرة، وهكذا.

يتقاطع في المبدأ الطبيعي خطا عرض وطول مختاران بحيث يناسبان الهدف من الإسقاط، ويسمى هذان الخطان بأسماء مختلفة حسب نوع الإسقاط، وعموماً، يسمى خط العرض المار بالمبدأ الطبيعي **زاوية عرض المبدأ الطبيعي** (latitude of natural origin) أو **دائرة العرض المركزية** (central parallel) ويرمز لها بـ φ_O، ويسمى زاوية خط الطول المار بالمبدأ الطبيعي **زاوية طول المبدأ الطبيعي** (longitude of natural origin) أو **خط الزوال المركزي** (central

(meridian: CM)، ويرمز لها بـ λ_O.



الشكل 4-17 وسطاء الإسقاط في إسقاط ميركاتور المستعرض

يقلل **عامل المقياس** (scale factor) التشوّه بشكل عام في المنطقة التي يغطيها الإسقاط، ويرمز له بـ k_O. عامل المقياس هو نسبة يمكن تطبيقها على النقطة أو الخط المركزي في الإسقاط. في إسقاط ميركاتور المستعرض مثلاً يكون عامل المقياس 0.9996 على طول خط الزوال المركزي، ما يعني وجود خطي طول موازيين له تقريباً يبعد كل منهما حوالي 180 كيلومتر يساوي عامل المقياس فيهما 1.

ثمة وسطاء تظهر في أنواع إسقاط معينة، مثل الإسقاط المخروطي الذي يتطلب تعريف **موازيين قياسيين** (standard parallels)، وهما خطا العرض الذي يقطع بهما المخروط سطح الكرة أو المجسّم الإهليلجي، ويرمز لهما بـ φ_1 و φ_2.

ويتوفر العديد من أنظمة الإسقاط، يعرف كل نظام منها بوسطاء تختلف باختلاف نظام الإسقاط.

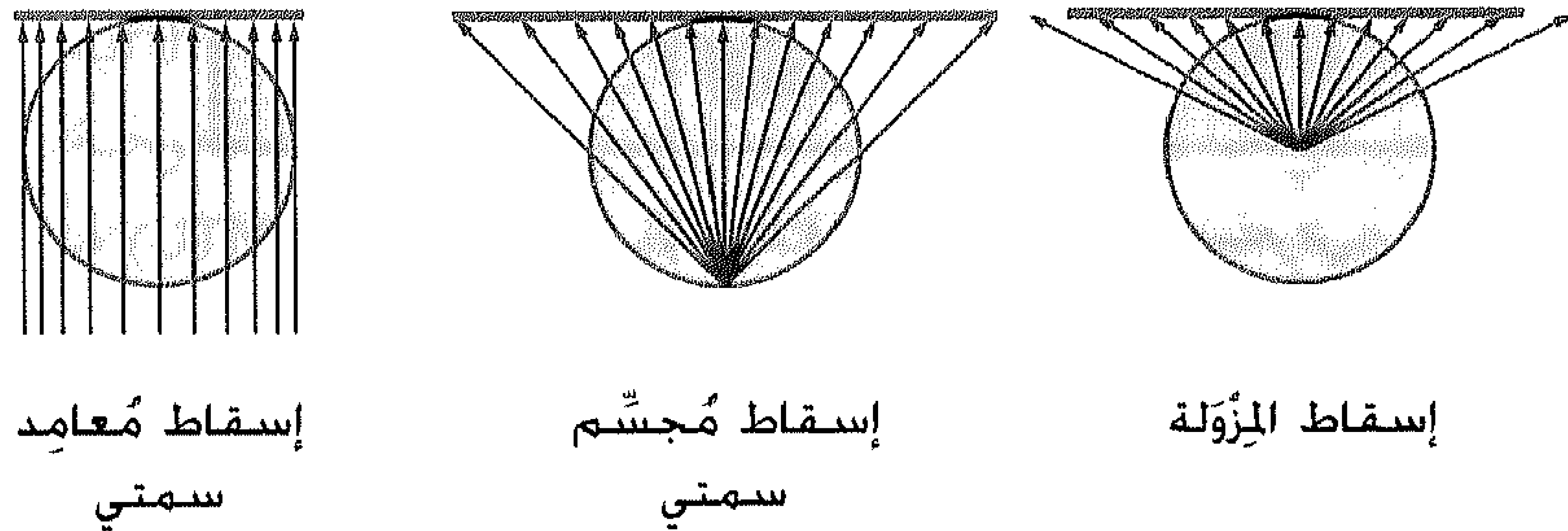
تختار كل دولة قيم وسطاء نظام الإسقاط حسب احتياجاتها، وقد لا توفرها للجهات الخاصة أو العامة، بل تصنفها في فئة المعلومات السرية. مع ذلك يمكن استنتاج قيم وسطاء نظام الإسقاط بمقارنة قيم الإحداثيات لمجموعة كافية من النقاط بين نظام الإسقاط المستخدم في الدولة ونظام آخر، نقوم بمقارنة قيم الإحداثيات بتجربة أكثر من قيمة إلى أن نتوصل إلى أفضل تقدير لهذه الوسطاء.

4.10. أنواع الإسقاط

فيما يلي نبذة مختصرة عن بعض أهم أنواع الإسقاط، وهي الإسقاط السمتي والمخروطي والأسطواني.

4.10.1. الإسقاط السمتي

تحافظ جميع الإسقاطات السمتية على السمت من نقطة مرجعية تكون عادة في مركز الخريطة، يمكن منها قياس الاتجاه الصحيح (وليس بالضرورة المسافة) إلى أي نقاط أخرى. تسمى الإسقاطات السمتية **الإسقاطات المستوية** (planar projections) أيضاً لأنها ناتجة من إسقاط منظوري على سطح مستو، ويشيع استخدامها في المناطق القطبية.



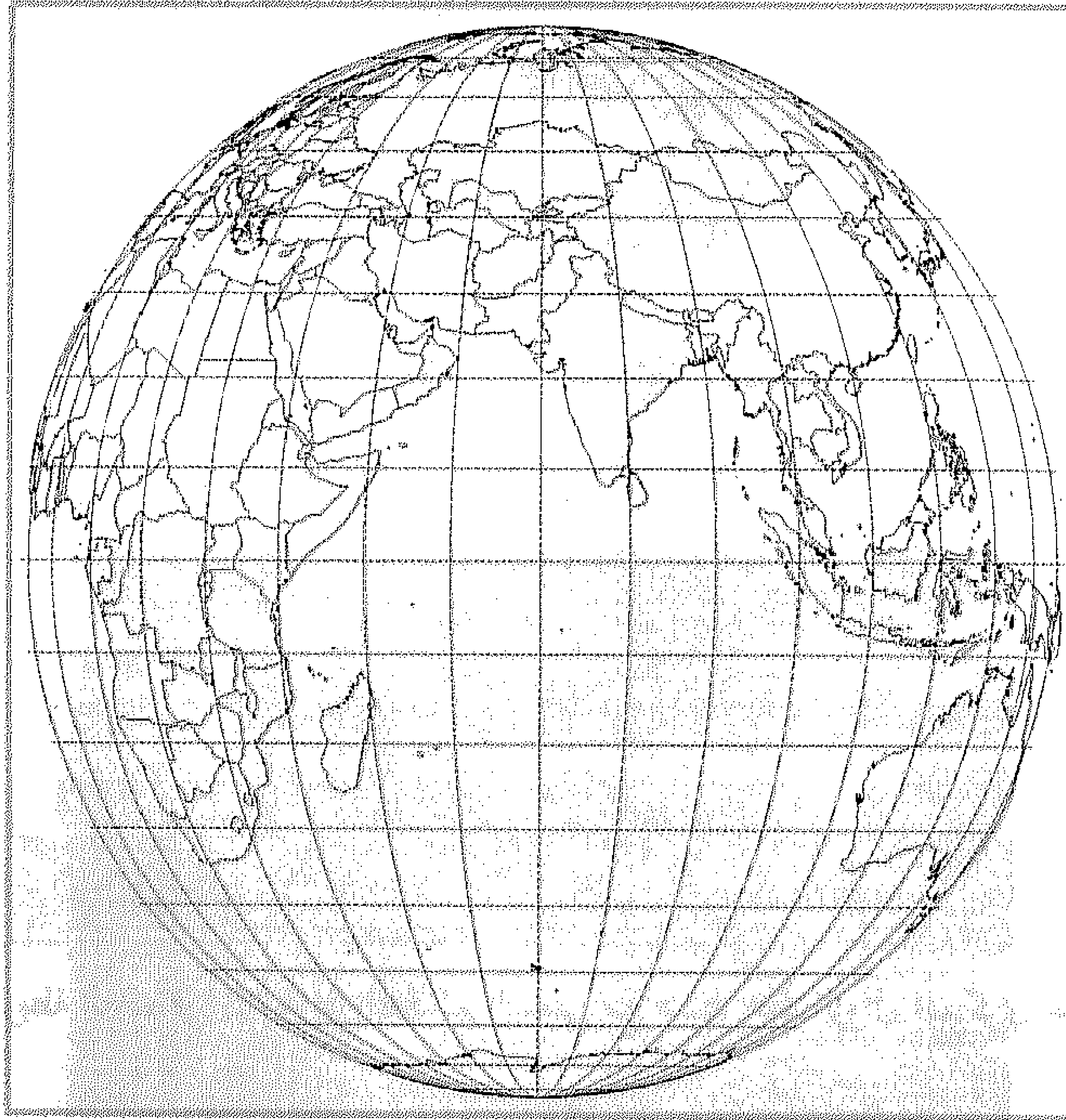
الشكل 4-18 مصادر الإضاءة في أنواع الإسقاط السمتي

للنقطة التي يمس بها سطح الإسقاط السطح المرجعي أهمية كبرى، فهي مبدأ الإسقاط، والمسار الأقصر من مبدأ الإسقاط إلى أي نقطة أخرى هو الخط المستقيم الذي يصل بينهما. يزداد تشوّه المساحات والأشكال كلما ابتعدنا عن المبدأ ، ولذلك يناسب هذا الإسقاط المناطق شبه الدائرية.

يمكن دفع سطح الإسقاط إلى داخل الكرة ليكون قاطعاً لها، وبذلك يكون التشوه معدوماً في محيط الدائرة التي تتشكل من تقاطع السطح والكرة.

4.10.1.1. الإسقاط المُعامِد السمتي

يُستخدم **الإسـقاط المُعامِـد السـمتي** (azimuthal orthographic projection) أساساً لأغراض الإيضاح، وتظهر فيه الأرض كما ترى من الفضاء من نقطة بعيدة بلا نهاية، لكن التشوه الكبير في أشكال المعالم ومساحاتها عند حدود الخريطة يمنع من استخدامه في خرائط العالم العامة. يحافظ هذا الإسقاط من ناحية أخرى بدقة على المقياس على طول أي دائرة مركزها ينطبق مع مبدأ الإسقاط، مثل دوائر العرض عندما يكون سطح الإسقاط في المنظر القائم.



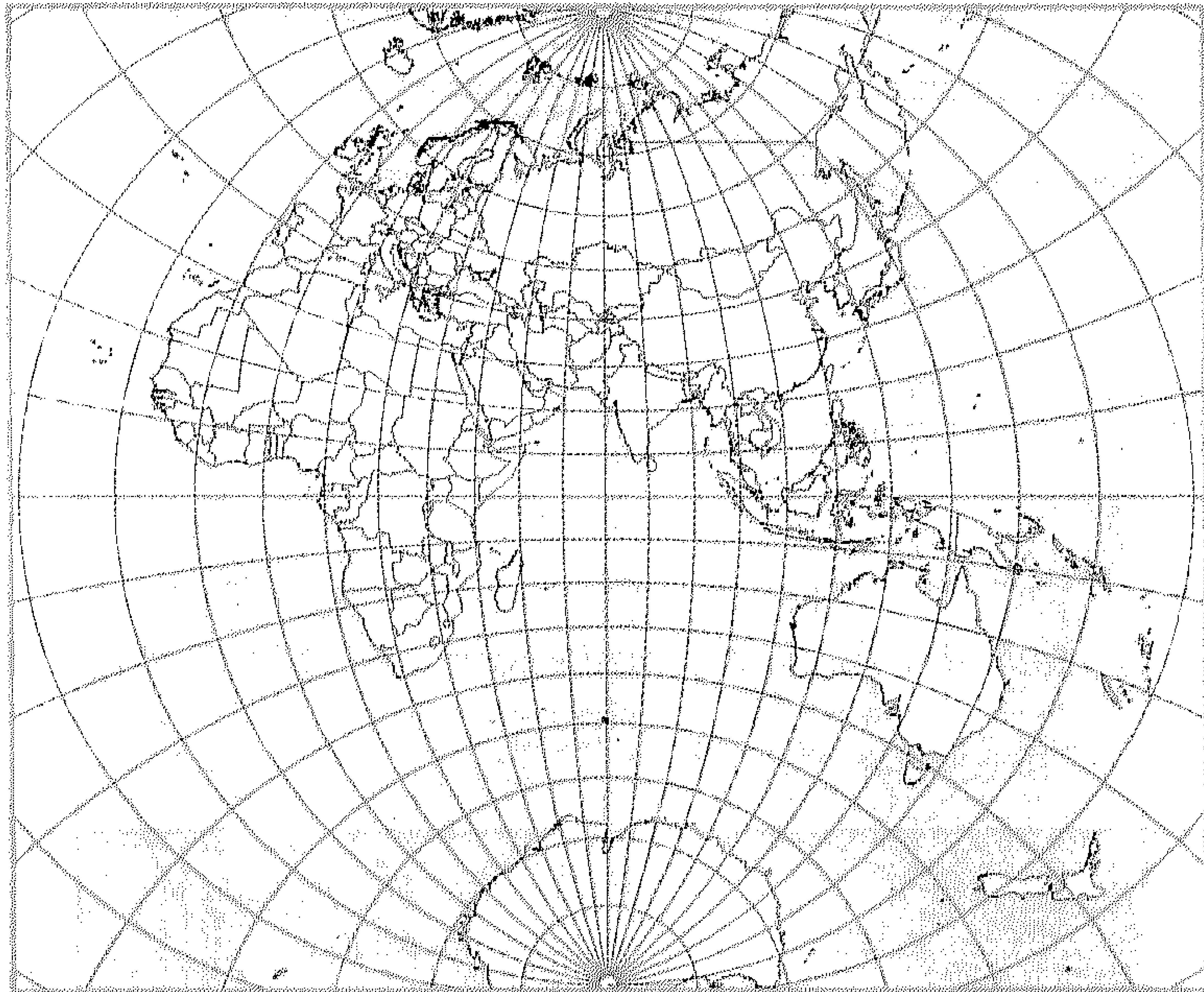
الشكل 4-19 خريطة العالم في الإسقاط المُعامِد السمتي مع ضبط خط الزوال المركزي عند 70 درجة شرق

4.10.1.2. الإسقاط المجسّم السمتي

الإسـقاط المجسّـم السـمتي (azimuthal stereographic projection): الإسقاط المجسّم السمتي هو الإسقاط المطابق الوحيد من بين بقية الإسقاطات السمتية. يعني ذلك أنه على مساحة صغيرة تكون الزوايا على الخريطة مساوية للزوايا المقابلة لها على سطح الأرض. يحافظ هذا الإسقاط على دوائر العرض والطول مهما كانت كبيرة (تتحول الدوائر الكبرى المارة بنقطة الإسقاط المركزية إلى خطوط مستقيمة)، إلا أن الدوائر متحدة المركز على الكرة لن تبقى متحدة المركز بشكل عام على الخريطة.

يستخدم هذا الإسقاط طريقة هندسية بسيطة، الأشعة المنبثقة عن مصدر تخترق سطح الأرض لتسقط على مستو مماس في نقطة مقابلة لها، والنتيجة هي صورة لخريطة تغطي المستوي بأكمله. ويجب الإشارة إلى أن المناطق القريبة من مصدر الضوء لا يمكن إسقاطها.

ولأن المقياس يتشوه كلما ابتعدنا عن مركز الخريطة، على النقيض من الإسقاط المُعامِد السمتي، يُقيّد هذا الإسقاط بنصف الكرة المواجه لنقطة المصدر، أو منطقة أصغر.



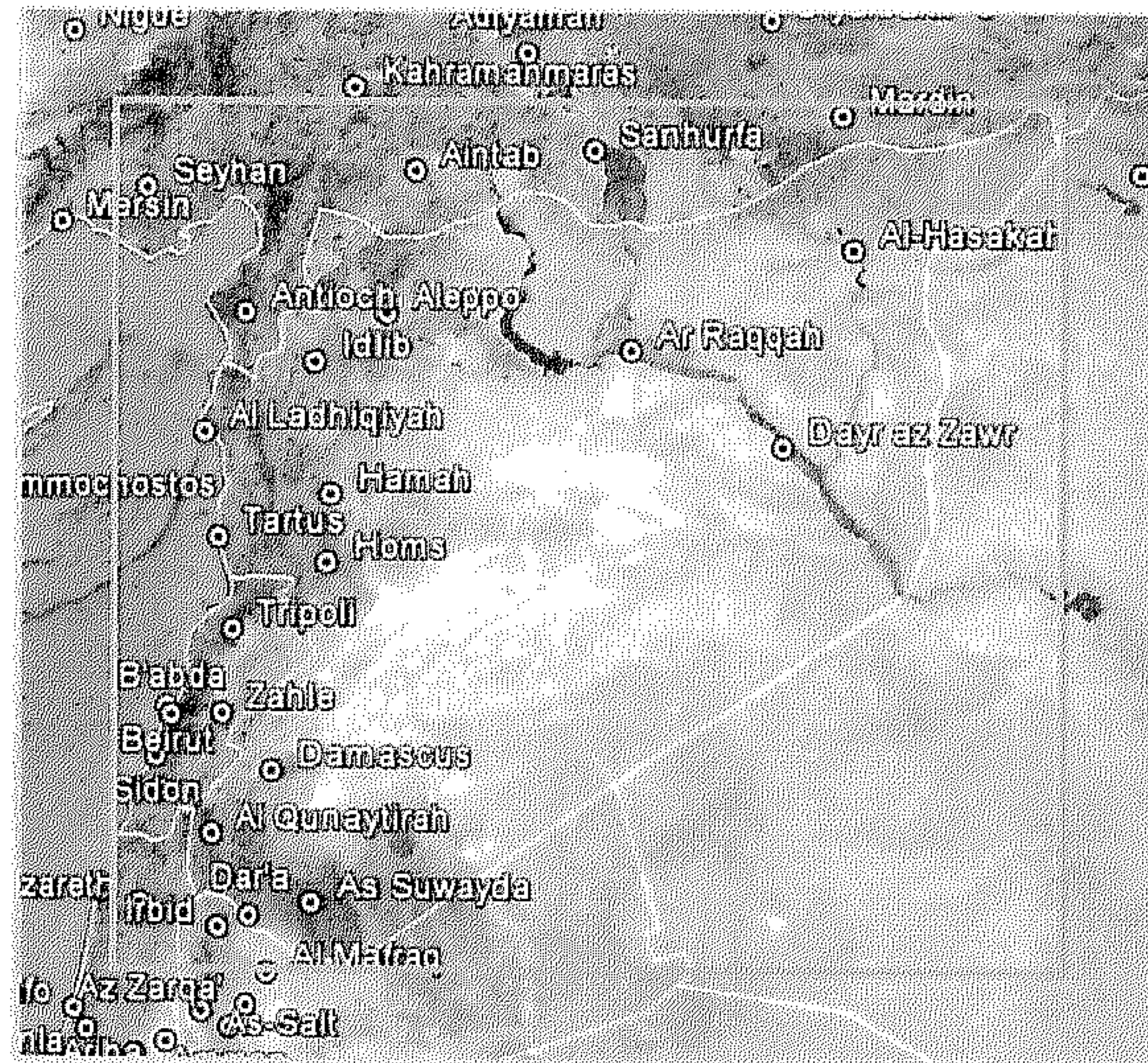
الشكل 4-20 خريطة العالم في الإسقاط المجسّم السمتي مع ضبط خط الزوال المركزي عند 70 درجة شرق

يمكن أن يكون سطح الإسقاط في المنظر القائم أو المنظر المستعرض أو المنظر المائل. يستخدم **الإسقاط المجسّم المائل** (oblique stereographic) في سوريا ويطلق عليه Deir ez Zor / Levant Stereographic ويرمز له في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 22780، ويمكن شرحه بالنص المعروف (WKT) أدناه، حيث يشار إلى النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة اختصاراً بـ :PROJCS

```
PROJCS["Deir ez Zor / Levant Stereographic",
  GEOGCS["Deir ez Zor",
    DATUM["Deir ez Zor",
      SPHEROID["Clarke 1880 (IGN)",6378249.2,293.46602129363,
      AUTHORITY["EPSG","7011"]],
    AUTHORITY["EPSG","6227"]],
```

```
      PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
      UNIT["degree",3.14159265358979,
      AUTHORITY["EPSG","9001"]],
    AUTHORITY["EPSG","4227"]],
    UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]],
    PROJECTION["Oblique Stereographic"],
PARAMETER["Latitude of natural origin", "38"],
PARAMETER["Longitude of natural origin", "43.5"],
PARAMETER["Scale factor at natural origin", "0.9995341"],
PARAMETER["False easting", "0"],
PARAMETER["False northing", "0"],
AUTHORITY["EPSG","22780"],
AXIS["Easting",east],
AXIS["Northing",north]]
```

يعتمد هذا النظام على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Deir ez Zor المبني على مرجع جيوديسي يحمل الاسم ذاته. المجسّم الإهليلجي المستخدم Clarke 1880 (IGN).



الشكل 4-21 حدود استخدام النظام Deir ez Zor / Levant Stereographic

لاحظ أن القاعدة العامة في تسمية الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة تقضي بذكر اسم النظام المرجعي الجغرافي مع اسم النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة لإزالة أي التباس (/ Deir ez Zor Levant Stereographic في مثالنا السابق)، لأن الإسقاط المجسّم (stereographic) يمكن

استخدامه مع أي نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية. حالياً يتوفر أكثر من 15 نظاماً مرجعياً للإحداثيات المسقطة تستخدم الإسقاط المجسّم مسجّلة في قاعدة بيانات EPSG.

العملية رقم 9809 في قاعدة بيانات EPSG تسرد العلاقات المباشرة والعكسية ذات الصلة بالإسقاط المجسّم السمتي عندما يكون سطح الإسقاط في المنظر المائل، نذكر منها العلاقة المباشرة.

بفرض الإحداثيات الجغرافية لمبدأ الإسقاط (φ_0, λ_0) يمكن إيجاد ثوابت **الكرة المطابقة** (conformal sphere) للمجسّم الإهليلجي في مبدأ الإسقاط كما يلي:

ρ_0 نصف قطر الانحناء لخط الزوال عند زاوية العرض φ_0:

$$\rho_O = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi_O)^{\frac{3}{2}}}$$

ν_0 نصف قطر الانحناء في الناظم الأعظم (prime vertical)؛ أي عند مستو عمودي على كلٍّ من المجسّم الإهليلجي وخط الزوال المار بتلك النقطة، ويساوي:

$$\nu_O = \frac{a}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi_O)}}$$

نصف قطر الكرة المطابقة R:

$$R = \sqrt{\rho_O \, \nu_O}$$

ثوابت الكرة المطابقة الأخرى n وc:

$$n = \sqrt{1+\left(\frac{e^2 \cos^4 \varphi_O}{1-e^2}\right)}$$

$$c = \frac{(n+\sin \varphi_O)(1-\sin \chi_O)}{(n-\sin \varphi_O)(1+\sin \chi_O)}$$

حيث:

$$\chi_O = \frac{(w_1 - 1)}{(w_1 + 1)}$$

$$w_1 = (S_1\,(S_2)^e)^n$$
$$S_1 = \frac{1 + \sin\varphi_O}{1 - \sin\varphi_O}$$
$$S_2 = \frac{1 + e\sin\varphi_O}{1 - e\sin\varphi_O}$$

تُحسب زاويتا العرض والطول المطابقين (χ_O, Λ_O) للمبدأ من العلاقات:

$$\chi_O = \arcsin\left(\frac{(w_2 - 1)}{(w_2 + 1)}\right)$$
$$\Lambda_O = \lambda_O$$

حيث:

$$w_2 = c\,(S_1\,(S_2)^e)^n$$

يمكن إيجاد الإحداثيات المطابقة (χ, Λ) المكافئة للإحداثيات الجغرافية (φ, λ) لأي نقطة من العلاقتين:

$$\Lambda = n\,(\lambda - \Lambda_O) + \Lambda_O$$
$$\chi = \arcsin\left(\frac{(w - 1)}{(w + 1)}\right)$$

حيث:

$$w = c\,(S_a\,(S_b)^e)^n$$
$$S_a = \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi}$$
$$S_b = \frac{1 + e\sin\varphi}{1 - e\sin\varphi}$$

ثم يتم إيجاد الشرقيات والشماليات بالعلاقتين:

$$E = FE + 2\,R\,k_O\,\frac{\cos\chi\,\sin(\Lambda - \Lambda_O)}{B}$$

$$N = FN + 2\,R\,k_O \frac{(\sin\chi \cos\chi_O - \cos\chi \sin\chi_O \cos(\Lambda - \Lambda_O))}{B}$$

حيث:

$$B = (1 + \sin\chi \sin\chi_O + \cos\chi \cos\chi_O \cos(\Lambda - \Lambda_O))$$

مشروع:

يراد إيجاد الإحداثيات المسقطة باستخدام الإسقاط المجسّم المائل Deir ez Zor / Levant Stereographic لنقطة إحداثياتها (φ, λ) في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Deir ez Zor ما يلي:

$$\varphi = 36°2'1.8496" = 0.628909274\,Rad$$
$$\lambda = 36°41'28.5934" = 0.640383572\,Rad$$

الحل:

الوسطاء مذكورة في النص المعروف السابق، وبتحويل مبدأ الإسقاط من الغراد إلى الدرجة:

$$\varphi_0 = 34°12'00" = 0.596902604\,Rad$$
$$\lambda_0 = 39°09'00" = 0.683296402\,Rad$$

أولاً نقوم بإيجاد ثوابت الكرة المطابقة:

$$\rho_O = 6355334.828$$
$$\nu_O = 6385115.225$$
$$R = 6370207.624$$
$$n = 1.001601438$$
$$c = 1.003008282$$

حيث:

$$S_1 = 3.567079437$$
$$S_2 = 0.911383542$$
$$w_1 = 3.547055425$$

$$\sin\chi_0 = 0.560154911$$
$$w_2 = 3.557725968$$
$$\chi_0 = 0.595816409$$
$$\Lambda_0 = \lambda_0 = 0.683296402$$

الإحداثيات المطابقة (χ, Λ) للنقطة المذكورة:

$$\chi = 0.627753251$$
$$\Lambda = 0.64031485$$

ومنه:

$$B = 1.998871375$$

وبالتالي فإن الإحداثيات المسقطة للنقطة:

$$E = -221554.5235\, m$$
$$N = 206102.1834\, m$$

4.10.1.3. إسقاط المِزْوَلة

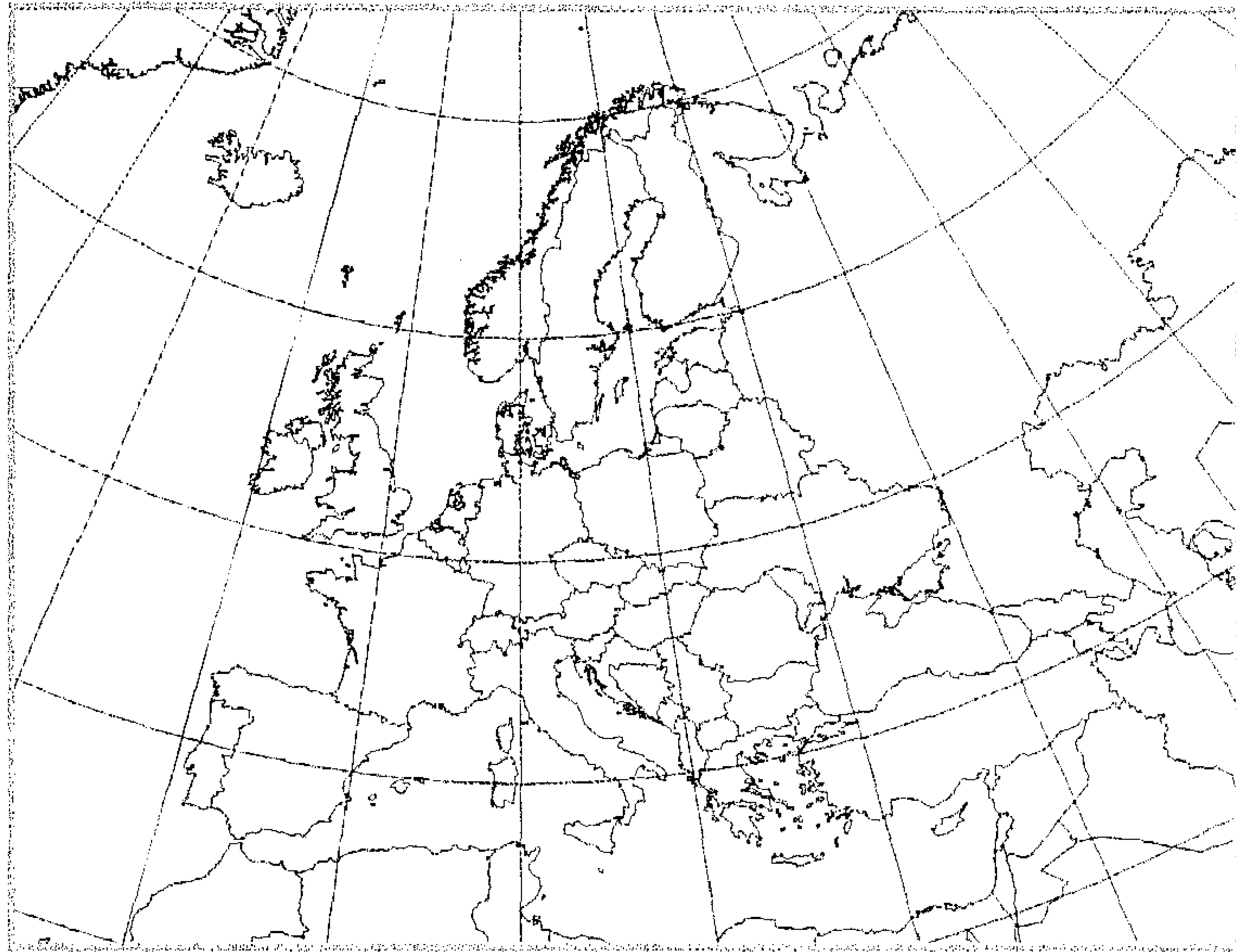
يُنشأ إسقاط المِزْولة (gnomonic projection) - ويسمى أيضاً الإسقاط المركزي (central projection or centrographic projection) - بشكل يشبه إلى حد كبير طريقة عمل الإسقاط المجسّم السمتي، ولكن مصدر الأشعة يقع في مركز الكرة بالضبط، وبالتالي يمكن إسقاط أقل من نصف الكرة الأرضية فقط في وقت واحد. تتشوه المسافة والشكل بوضوح باستثناء المناطق القريبة جداً من نقطة المماس.

يتميز هذا الإسقاط بخاصية فريدة ومهمة، وهي إسقاط جميع الأقواس الجيوديسية بما في ذلك خط الاستواء وخطوط الطول في صورة خطوط مستقيمة لأن مصدر الضوء يقع في مركز الكرة، ما يجعل من السهل العثور على أقصر طريق بين أي نقطتين، وإن لم يكن الاتجاه بينهما صحيحاً. لذلك يستعمل هذا الإسقاط في تخطيط المسارات الجوية والبحرية.

4.10.2. الإسقاط المخروطي

في الإسقاط المخروطي (conical projection) تسمى دائرة العرض التي يمس بها المخروط الكرة في المنظر القائم خط العرض الرئيسي أو الموازي القياسي (standard parallel)، ويكون خطاً وهو أحد الخطوط القياسية في الخريطة ويكون عندها المقياس ثابتاً وصحيحاً. تتميز الإسقاطات المخروطية في المنظر القائم بأن خطوط الطول مستقيمة وجميعها خطوط قياسية تتقارب في نقطة هي عادة القطب. تكون الموازيات في هذا الإسقاط أقواساً من دائرة متمركزة في نقطة التقاء خطوط الطول. ونتيجة لذلك، تقطع المتوازيات خطوط الطول بزوايا قائمة، كما يكون التشوه ثابتاً على طول كل مواز.

يقص المخروط على طول أحد خطوط الطول، ثم ينشر، ويسمى خط الطول المناظر لخط قص المخروط خط الزوال المركزي (central meridian).



الشكل 4-22 خريطة أوروبا في إسقاط لامبرت المخروطي مُساوي المساحات

عندما يكون المخروط قاطعاً للسطح المرجعي يوفر الإسقاط المخروطي موازيين قياسين (2SP) أي خطي عرض رئيسين، يكون نمط التشوه في المنطقة المحصورة بينهما مختلفاً عن المناطق الأخرى، وبشكل عام يكون التشوه في الإسقاط المخروطي القاطع أقل من الإسقاط المخروطي المماس.

يختلف إظهار المعالم في الإسقاط المخروطي باختلاف المسافات الفاصلة بين الموازيات، وعندما

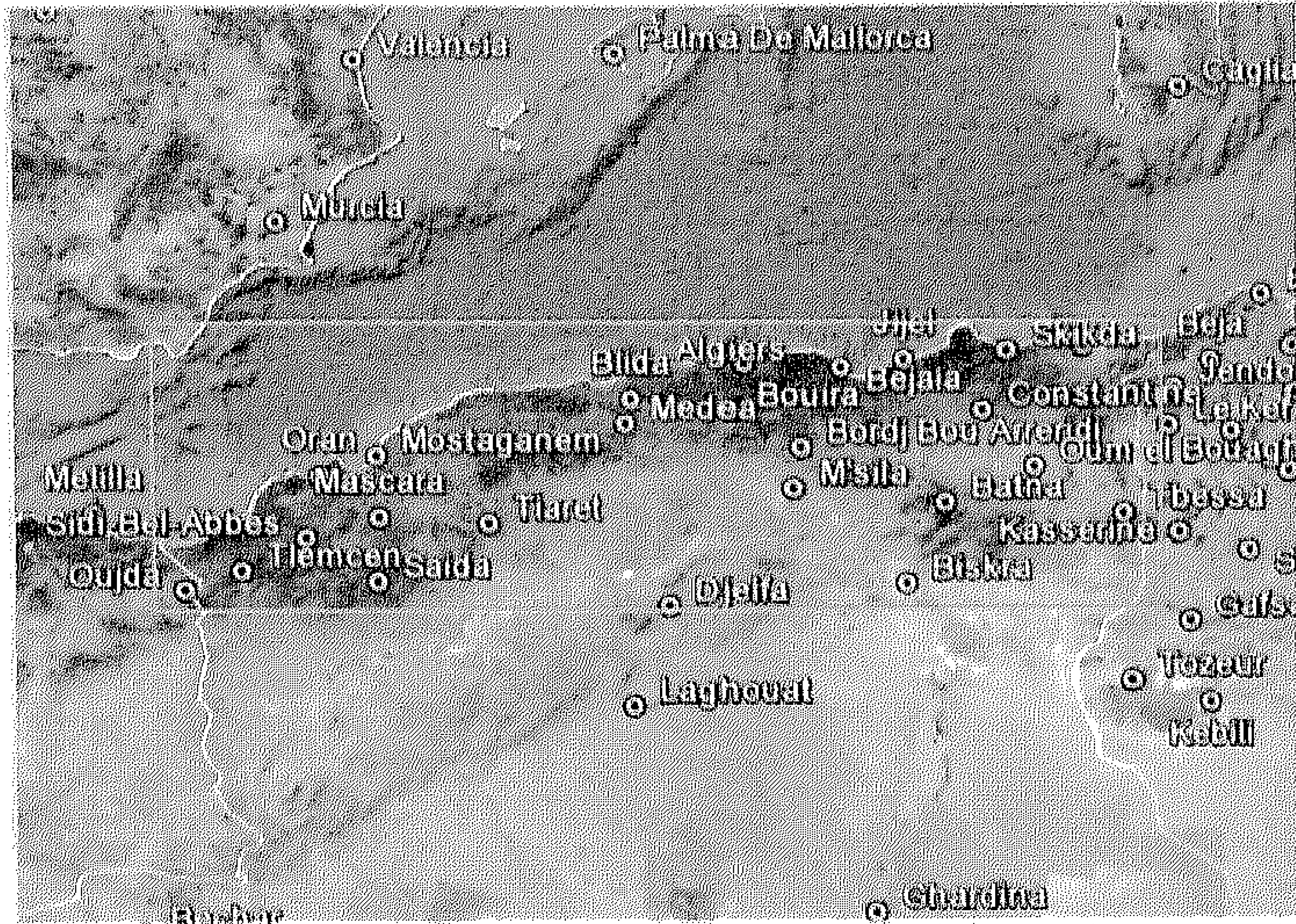
تتساوى المسافات الفاصلة يكون الإسقاط مُساوي المسافة شمالاً وجنوباً، لكنه لا يحافظ على المساحة ولا أشكال المعالم.

استخدمت الإسقاطات المخروطية على نطاق واسع في الخرائط الإقليمية أو الوطنية في المناطق المعتدلة، خصوصاً المناطق المحصورة بين خطي طول غير بعيدين مثل روسيا وأوروبا والولايات المتحدة. مع العلم أن الإسقاطات المخروطية نادراً ما تستخدم لخرائط العالم.

يستخدم النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة Nord Sahara 1959 / Voirol Unifie Nord في الجزائر شمالي خط العرض 34°39'N، ويرمز له في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 30791. النص المعروف التالي يصف هذا النظام:

```
PROJCS["Nord Sahara 1959 / Voirol Unifie Nord",
   GEOGCS["Nord Sahara 1959",
      DATUM["Nord Sahara 1959",
         SPHEROID["Clarke 1880 (RGS)",6378249.145,293.465,
         AUTHORITY["EPSG","7012"]],
      AUTHORITY["EPSG","6307"]],
      PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
      UNIT["degree",3.14159265358979,
      AUTHORITY["EPSG","9001"]],
   AUTHORITY["EPSG","4307"]],
   UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]],
   PROJECTION["Lambert Conic Conformal (1SP)"],
PARAMETER["Latitude of natural origin", "40"],
PARAMETER["Longitude of natural origin", "3"],
PARAMETER["Scale factor at natural origin", "0.999625544"],
PARAMETER["False easting", "500135"],
PARAMETER["False northing", "300090"],
AUTHORITY["EPSG","30791"],
AXIS["Easting",east],
AXIS["Northing",north]]
```

يعتمد هذا النظام على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Nord Sahara 1959، المبني على المرجع الجيوديسي الذي يحمل الاسم ذاته ويستخدم المجسّم الإهليلجي Clarke 1880 (RGS)، ويعتمد النظام من ناحية أخرى على إسقاط لامبرت المخروطي المطابق بموازي قياسي واحد (1SP).



الشكل 4-23 حدود استخدام النظام Nord Sahara 1959 / Voirol Unifie Nord

العملية رقم 9801 في قاعدة بيانات EPSG تسرد العلاقات المباشرة والعكسية ذات الصلة بإسقاط لامبرت المخروطي المطابق بموازي قياسي واحد، نذكر منها العلاقة المباشرة.

$$E = FE + r \sin\theta$$

$$N = FN + r_O - r\cos\theta$$

$$n = \sin\varphi_O$$

$$m_O = \frac{\cos\varphi_O}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2\varphi_O}}$$

حيث t و t_O يحسبان من أجل φ و φ_O من العلاقة:

$$t = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}{\left(\frac{1 - e\sin\varphi}{1 + e\sin\varphi}\right)^{\frac{e}{2}}}$$

$$F = \frac{m_O}{n\,(t_O)^n}$$

حيث r و r_O يحسبان من العلاقة:

$$r = a\,F\,t^n\,k_0$$
$$\theta = n\,(\lambda - \lambda_0)$$

مشروع:

يراد إيجاد الإحداثيات المسقطة باستخدام Nord Sahara 1959 / Voirol Unifie Nord لنقطة إحداثياتها (φ, λ) في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Nord Sahara 1959:

$$\varphi = 33°42'15.55"N = 0.588251346\ Rad$$
$$\lambda = 3°20'20.18"E = 0.058275477\ Rad$$

الحل:

الوسطاء مذكورة في النص المعروف السابق، وبتحويل مبدأ الإسقاط من الغراد إلى الدرجة:

$$\varphi_0 = 36°00'00"N = 0.628318531\ Rad$$
$$\lambda_0 = 2°42'00"E = 0.04712389\ Rad$$

أولاً نقوم بإيجاد الثوابت:

$$m_0 = 0.809969493$$
$$t_0 = 0.511568728$$
$$F = 2.043393084$$
$$n = 0.587785252$$
$$R = 9040591.651$$
$$r_0 = 8785951.501$$
$$\theta = 0.006554739$$
$$t = 0.537048895$$

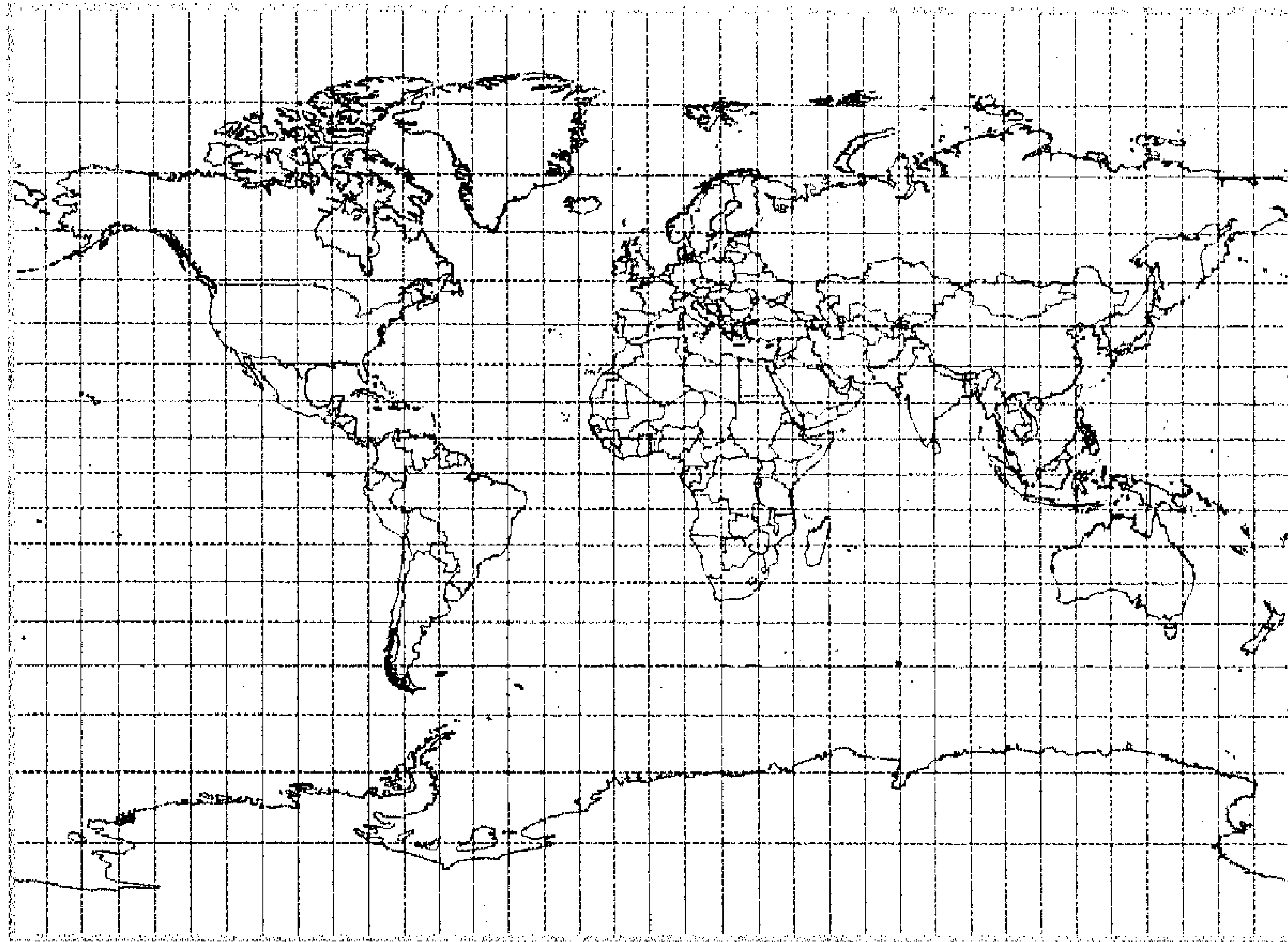
وبالتالي فإن الإحداثيات المسقطة للنقطة:

$$E = 559393.2905\ m$$
$$N = 45644.06218\ m$$

4.10.3. الإسقاط الأسطواني

في المنظر القائم، وهو المنظر الأكثر شيوعاً للإسقاط الأسطواني (cylindrical projection)، تكون جميع خطوط الإحداثيات مستقيمة، وتقطع المتوازيات خطوط الطول بزاوية قائمة، ولذلك تكون خرائط العالم في هذا الإسقاط مستطيلة دائماً. يكون المقياس ثابتاً على طول أي مواز، وهذا ما يفسر تباعد خطوط الطول بمسافة متساوية، كما يكون المقياس متساوياً بين أي زوج من المتوازيات متساوية البعد عن خط الاستواء.

يكون لجميع المتوازيات ذات الطول، كما يكون لخطوط الطول ذات الطول أيضاً، وهنا تبرز مشكلة الإسقاط الأسطواني الذي يختلف فيه المقياس اختلافاً كبيراً بين المتوازيات، حيث يبلغ ما لا نهاية له في القطبين على الخريطة، ولذلك تظهر نقطة القطب التي لا طول لها على الكرة مساوية في الطول لخط الاستواء.



الشكل 4-24 خريطة العالم في إسقاط Miller الأسطواني

تكون الأسطوانة إما مماسة للكرة أو قاطعة لها، ونتيجة لذلك تكون الخطوط القياسية في الخريطة إما خط التماس وهو خط الاستواء في الحالة الأولى أو خطي التقاطع وهما متوازيان (خطا عرض) في الحالة الثانية.

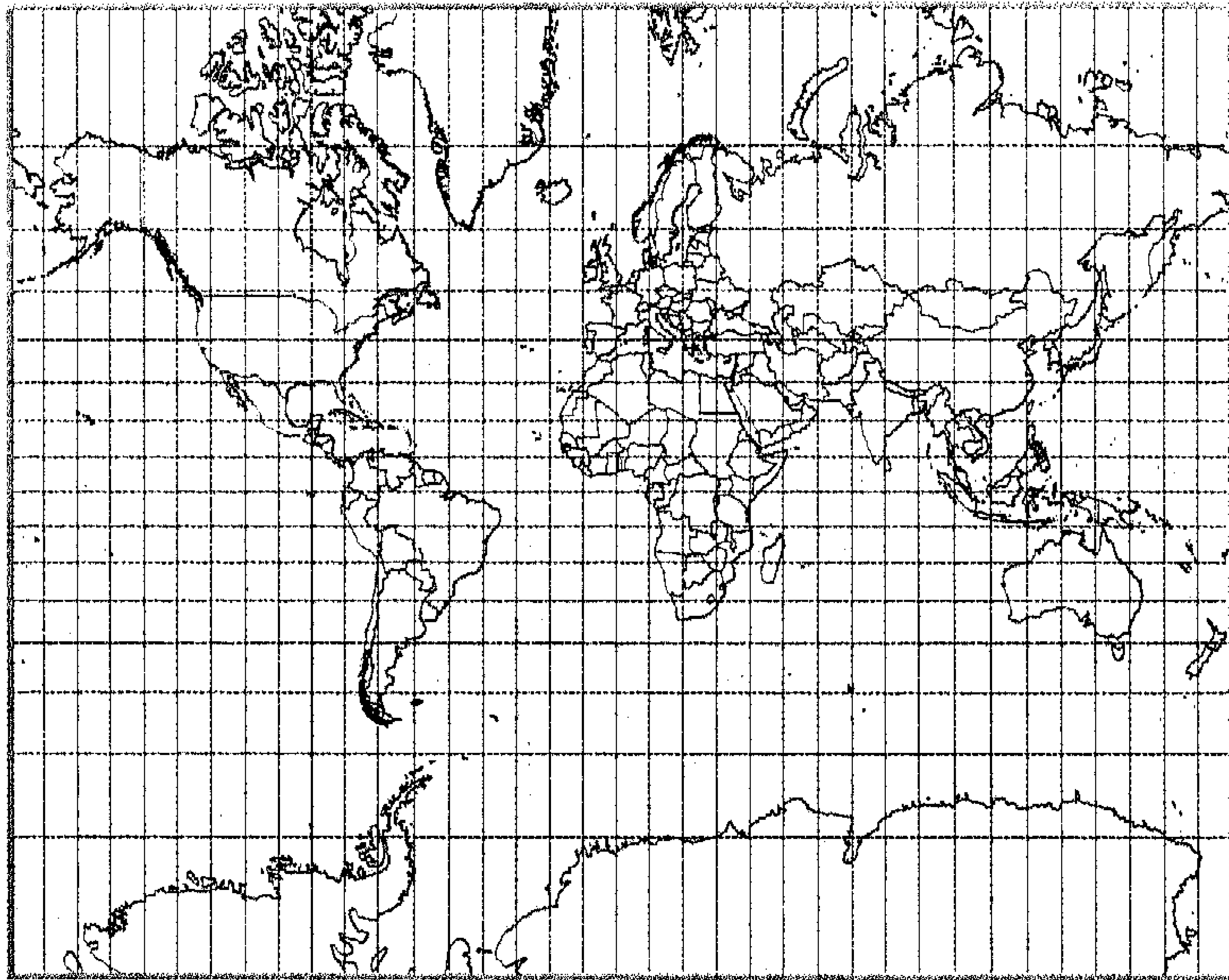
يشيع استخدام الإسقاطات الأسطوانية في المناطق الاستوائية. تتشابه الإسقاطات الاسطوانية

عموماً، ويمكن تمييز بعضها عن بعض من تباعد الموازيات.

4.10.3.1. إسقاط ميركاتور

يذكر التاريخ جيراردوس ميركاتور (Gerardus Mercator) الذي عاش في الفترة من 1512 إلى 1594م، بفضل إسقاطه الأسطواني الذي أصبح بعد وفاته بفترة طويلة الإسقاط القياسي في الملاحة نظراً لقدرته على تمثيل خطوط الاتجاه الثابت (انظر 4.4 السمت والاتجاه والمسار الأقصر) في صورة خطوط مستقيمة.

ويوضح الاسم الذي أطلقه ميركاتور على خريطته Nova et Aucta Orbis Terrae Descriptio ad Usum Navigantium Emendata أي "الشرح الجديد والمزيد للأرض والمصحَّح للملاحة" أن هدف الخريطة كان لأغراض الملاحة. وعلى الرغم من أن ميركاتور لم يشرح الطريقة التي اتبعها في إنشاء خريطته، يمكن تفسير إسقاطه بأسلوب هندسي، حيث قام بنقل خطوط الاتجاه الثابت المرسومة على كرة إلى شبكة مستطيلة وقام بضبط التباعد بين الموازيات بحيث تصبح هذه خطوط الاتجاه الثابت مستقيمة وتصنع مع خطوط الطول على الخريطة ذات الزاوية التي تصنعها مع خطوط الزوال على الأرض.



الشكل 4-25 خريطة العالم في إسقاط ميركاتور القائم

تكمن أهمية إسقاط ميركاتور (Mercator projection) بإمكانية رسم خط مستقيم بين نقطتي البداية والنهاية على الخريطة، واتباع **الاتجاه** (bearing) الذي يصنعه الخط مع خطوط الطول المحلية، ما يكفي للوصول إلى الوجهة المنشودة.

كان اختراع ميركاتور سابقاً لتقنيات عصره الملاحية والمساحية، إذ لم يكن ممكناً تحديد خط الطول في البحر بدقة كافية، كما كانت الاتجاهات المغناطيسية مستخدمة في الملاحة بدلاً من الاتجاهات الجغرافية. وهكذا لم يعتمد البحارة إسقاط ميركاتور إلا منتصف القرن 18، بعد اختراع **الميقاتية البحرية** (marine chronometer) ومعرفة توزع ظاهرة الانحراف المغناطيسي.

يصنف إسقاط ميركاتور وهو إسقاط أسطواني قائم في فئة الإسقاط المطابق، ويكون المقياس الخطي متساوياً في جميع الاتجاهات حول أي نقطة، ما يحافظ على زوايا وأشكال المعالم الصغيرة، لكنه يتسبب بتشويه حجم وشكل المعالم الكبيرة مع زيادة المقياس من خط الاستواء باتجاه القطبين، حيث يصبح المقياس لا نهاية له، ما يجعل هذا الإسقاط غير ملائم للمناطق القطبية.

تظهر الدوائر الكبرى في إسقاط ميركاتور في صورة أقواس، باستثناء خطوط الطول ودائرة الاستواء، ما يعني أن الخط المستقيم بين نقطتين لا يمثّل المسار الأقصر بينهما إلا إذا كانت النقطتان واقعتين على دائرة الاستواء أو على أحد خطوط الطول.

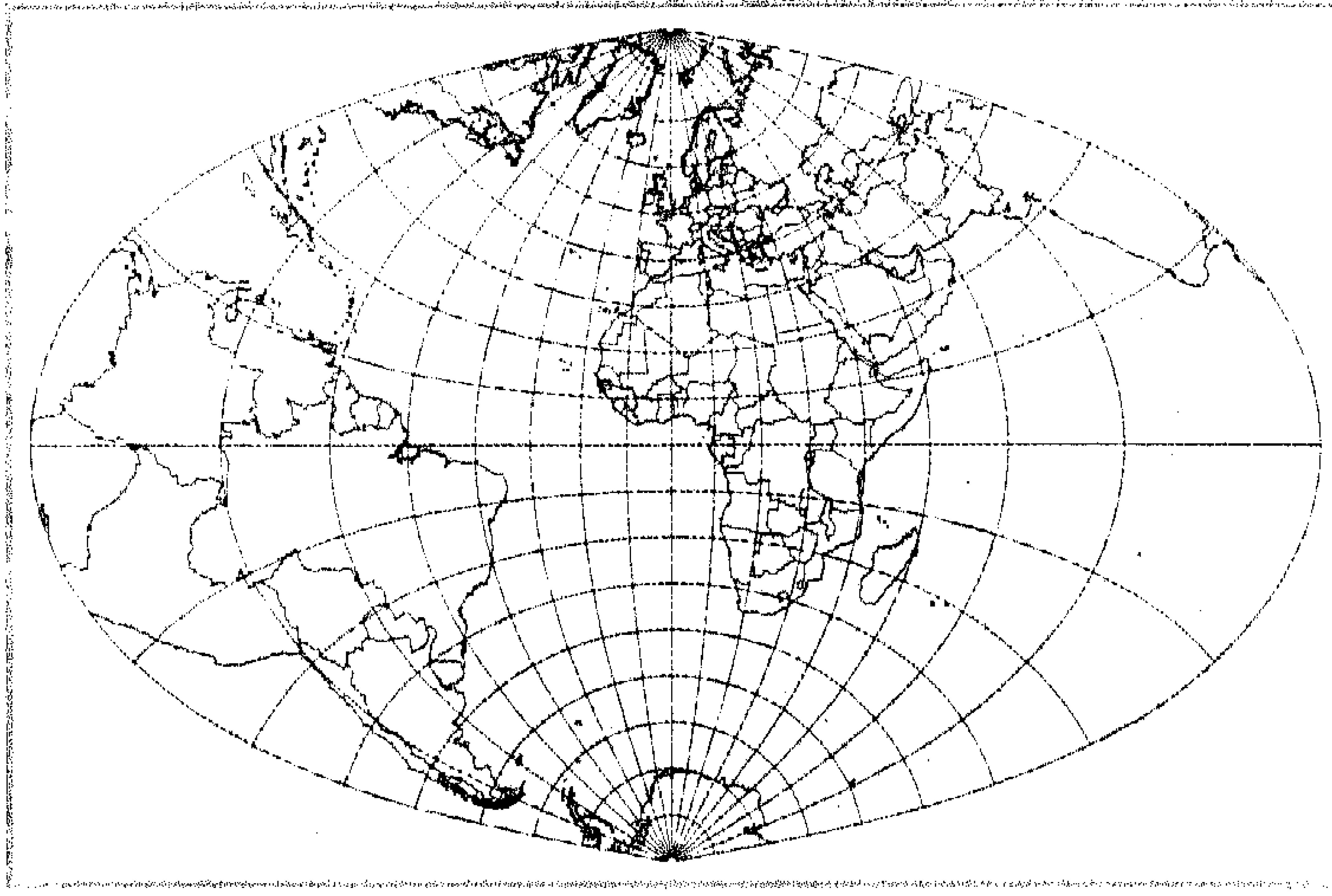
4.10.3.1.1. إسقاط ميركاتور المستعرض

إسقاط ميركاتور المستعرض (Transverse Mercator: TM) نسخة معدلة من إسقاط ميركاتور القياسي، تكون فيه الأسطوانة مستعرضة، بدلاً من المنظر القائم. وبما أن خطوط الزوال ليست مستقيمة يناسب هذا الإسقاط الخرائط الطوبوغرافية بمقياس كبير، بدلاً من الملاحة، ويستخدم على نطاق واسع في الخرائط الوطنية والدولية في مختلف أنحاء العالم، لما يوفره من دقة عالية في **المناطق** (zones) المحدودة ببضع درجات بين الشرق والغرب.

ونظراً للأساس المشترك لكلا الإسقاطين، أي ميركاتور القياسي (أي القائم) والمستعرض، يرث إسقاط ميركاتور المستعرض معظم صفات إسقاط ميركاتور القياسي:

- كلا الإسقاطان أسطواني: ينطبق محور الأسطوانة في إسقاط ميركاتور القائم مع المحور القطبي للسطح المرجعي (الكرة أو المجسّم الإهليلجي) ويكون خط التماس بين الأسطوانة والسطح المرجعي خط الاستواء. يقع محور الأسطوانة في إسقاط ميركاتور المستعرض في المستوي الاستوائي، والأسطوانة تمس السطح المرجعي في خط زوال يحدده المستخدم، يسمى خط الزوال المركزي.

- يمكن تعديل كلا الإسقاطين بحيث يكونان قاطعين.
- يتوفر كلا الإسقاطين في نسختين، الكرة والمجسّم الإهليلجي.
- كلا الإسقاطين مطابقان يحافظان على الأشكال المحلية
- كلا الإسقاطين يوفران خط مقياس ثابت عند دائرة تماس الأسطوانة والكرة (خط الاستواء في إسقاط ميركاتور القياسي وخط الزوال المركزي في إسقاط ميركاتور المستعرض).



الشكل 4-26 خريطة العالم في إسقاط ميركاتور المستعرض مع ضبط خط الزوال المركزي عند 0 درجة

يتسبب إسقاط ميركاتور المستعرض بتشوهات كبيرة كلما ابتعدنا عن مركزه، أي نقطة تقاطع خطي العرض والطول الرئيسين.

عَرَض هذا الإسقاط وشرحه في حالة الكرة يوهان هاينغيش لامبرت (Johann Heinrich Lambert) في العام 1772 (إسقاط هندسي)، وفي العام 1825 وضع Carl Friedrich Gauss نسخة منه خاصة بالمجسّم الإهليلجي بدلاً من الكرة (إسقاط تحليلي)، وقام بتحليلها Johann Heinrich Louis Krüger في العام 1912، ولذلك تعرف هذه النسخة باسم إسقاط Gauss المطابق، أو Gauss-Krüger.

ينتمي هذا الإسقاط إلى فئة الإسقاطات المطابقة ويوفر مقياساً ثابتاً على طول خط الزوال المركزي.

يُقسم المجسّم الإهليلجي إلى مناطق (zones) عبارة عن حزوز طويلة أو أشرطة عرضها 6 درجات وتُرقّم ابتداءً من خط الزوال الرئيسي باتجاه الشرق. خط الطول الذي يقع في منتصف المنطقة يسمى خط الطول الرئيسي وعنده تلامس الأسطوانة المجسّم الإهليلجي أو الكرة، ويكون 3 و9 و12 درجة شرقاً وهكذا، وتسمى المناطق 1 و2 و3 الخ.

يكون عرض المناطق بعض التطبيقات الخاصة من إسقاط Gauss-Krüger 3 درجات، ويكون خط الطول الرئيسي فيها 1.5 و4.5 و7.5 درجة شرقاً وهكذا، وتسمى المناطق 1 و2 و3 الخ. تستخدم هذه التطبيقات في بعض البلدان مثل ألمانيا والنمسا والأرجنتين، ولا تعاني هذه الخرائط إلا من 1/6 مما يعانيه الإسقاط ذي مناطق الستة درجات من تشوه في المقياس.

تُمثّل كل منطقة بشكل مستقل، أولاً على الأسطوانة التي تغلف المجسّم الإهليلجي. تمس الأسطوانة المجسّم الإهليلجي على طول خط الطول الرئيسي، ومحورها يقع في مستوي الاستواء ماراً من مركز الأرض. يتم بعد ذلك نشر الأسطوانة على مستو. وتُعدّ نقطة تقاطع خط الاستواء وخط الطول الرئيسي في كل منطقة مبدأ نظام الإحداثيات الديكارتية ثنائية الأبعاد. تظهر خطوط الطول لكل منطقة أقواساً وبخاصة في نهاية خطوط الطول.

يظهر في كل منطقة تشوه في الأطوال يزداد كلما ابتعدنا عن خط الطول الرئيسي، ولذلك لا يمكن إسقاط المعالم الواقعة على بعد أكثر من 90 درجة من خط الطول الرئيسي، بل يجب أن يحصر ذلك بالمعالم الواقعة على بعد لا يتجاوز 20 درجة من خط الطول الرئيسي كحد أقصى.

في قاعدة بيانات EPSG يُعدّ إسقاط ميركاتور المستعرض، وإسقاط Gauss-Kruger وإسقاط Gauss-Boaga طريقة إسقاط واحدة باسم ميركاتور المستعرض.

تستخدم إمارة دبي في دولة الإمارات العربية المتحدة نظاماً مرجعياً للإحداثيات المسقطة مبنياً على إسقاط ميركاتور المستعرض يسمى WGS 84 / Dubai Local TM يرمز له في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 3997. النص المعرف (WKT) التالي يبين وسطاء هذا النظام:

```
PROJCS["WGS 84 / Dubai Local TM",
  GEOGCS["WGS 84",
    DATUM["World Geodetic System 1984",
      SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
      AUTHORITY["EPSG","7030"]],
    AUTHORITY["EPSG","6326"]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",3.14159265358979,
```

```
    AUTHORITY["EPSG","9001"]],
  AUTHORITY["EPSG","4326"]],
  UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]],
  PROJECTION["Transverse Mercator"],
PARAMETER["Latitude of natural origin", "0"],
PARAMETER["Longitude of natural origin", "55.2"],
PARAMETER["Scale factor at natural origin", "1"],
PARAMETER["False easting", "500000"],
PARAMETER["False northing", "0"],
AUTHORITY["EPSG","3997"],
AXIS["Easting",east],
AXIS["Northing",north]]
```

يعتمد هذا النظام على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84، ويعتمد من ناحية أخرى على إسقاط ميركاتور المستعرض.



الشكل 4-27 حدود استخدام النظام WGS 84 / Dubai Local TM

العملية رقم 9807 في قاعدة بيانات EPSG تسرد العلاقات المباشرة والعكسية ذات الصلة بإسقاط ميركاتور المستعرض، نذكر منها العلاقة المباشرة.

$$E = FE + k_0 \nu \left(A + \frac{(1 - T + C) A^3}{6} + \frac{(5 - 18T + T^2 + 72C - 58 e'^2) A^5}{120}\right)$$

$$N = FN + k_0 \left(M - M_0 + \nu \tan\varphi \left(\frac{A^2}{2} + \frac{(5 - T + 9C + 4C^2) A^4}{24} + \frac{(61 - 58T + T^2 + 600C - 330 e'^2) A^6}{720}\right)\right)$$

حيث:

$$e' = \sqrt{\frac{e^2}{1 - e^2}}$$

$$T = \tan^2\varphi$$

$$C = \frac{e^2 \cos^2\varphi}{(1 - e^2)}$$

$$A = (\lambda - \lambda_0) \cos\varphi$$

حيث λ و λ_0 بالراديان.

$$\nu = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2\varphi)}}$$

حيث M و M_0 يحسبان من أجل φ و φ_0 من العلاقة:

$$M = a\left(\left(1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3\,e^4}{64} - \frac{5\,e^6}{256} - \ldots\right)\varphi - \left(\frac{3\,e^2}{8} + \frac{3\,e^4}{32} + \frac{45\,e^6}{1024} + \cdots\right)\sin(2\varphi) + \left(\frac{15\,e^4}{256} + \frac{45\,e^6}{1024} + \cdots\right)\sin(4\,\varphi) - \left(\frac{35\,e^6}{3072} + \ldots\right)\sin(6\,\varphi) + \ldots\right)$$

مشروع:

يراد إيجاد الإحداثيات المسقطة باستخدام WGS 84 / Dubai Local TM لنقطة إحداثياتها (φ, λ) في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84:

$$\varphi = 25°15'44.12"N = 0.440909536\,Rad$$
$$\lambda = 55°30'25.04"E = 0.968779132\,Rad$$

الحل:

مبدأ الإسقاط:

$$\varphi_0 = 0°00'00"N = 0\,Rad$$
$$\lambda_0 = 55°20'00"E = 0.965748853\,Rad$$

أولاً نقوم بإيجاد الثوابت:

$$T = 0.222682177$$
$$C = 0.005512059$$
$$A = 0.002740475$$
$$M = 2795105.487$$
$$\nu = 6382028.737$$
$$M_O = 0$$
$$e' = 0.082094438$$

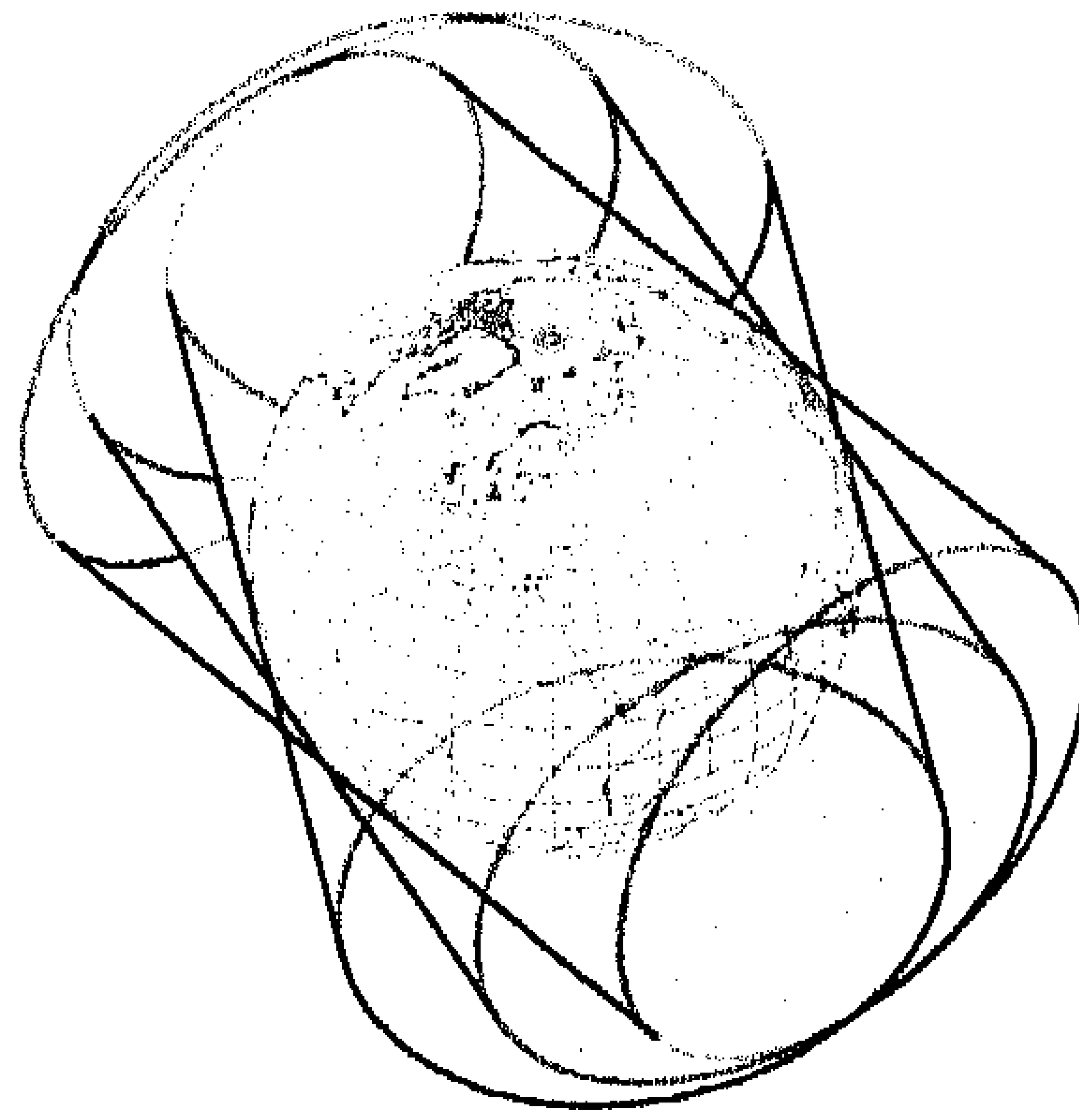
وبالتالي فإن الإحداثيات المسقطة للنقطة:

$$E = 517489.8091\, m$$
$$N = 2795116.796\, m$$

4.10.3.1.2. نظام إحداثيات ميركاتور المستعرض العالمي

يعد النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة المبني على إسقاط **ميركاتور المستعرض العالمي** (Universal Transverse Mercator: UTM) أفضل تطبيقات إسقاط ميركاتور المستعرض.

يقع محور الأسطوانة في إسقاط ميركاتور المستعرض في المستوي الاستوائي، وتمس الأسطوانة المجسّم الإهليلجي في خط زوال يحدده المستخدم، يسمى خط الزوال المركزي، وينتج من ذلك منطقة (zone) يتجه شمالاً وجنوباً يمثل المنطقة التي يراد إسقاطها يتميز بحد أدنى من التشوّه. فإذا تم تدوير الأسطوانة قليلاً كل مرة يمكن توليد خريطة العالم في مناطق متتالية يتميز كل منها بحد أدنى من التشوّه كذلك.



الشكل 4-28 سلسلة إسقاطات ميركاتور المستعرض العالمي

يعرّف UTM شبكة تغطي العالم بين خطي العرض 84 درجة شمالاً و 80 درجة جنوباً. تنقسم الشبكة إلى 60 منطقة (zone)، يمتد كل منها 6 درجات ويمر خط الطول الرئيسي في منتصف المنطقة وتكون الشرقيات الزائفة فيه 500,000 متر. وتُحدّد المناطق باستخدام أعداد متتالية، تزداد من الغرب باتجاه الشرق، المنطقة الأولى إلى الشرق مباشرة من خط الطول 180 درجة، رقمها 1،

وتغطي 6 درجات. تمتد المنطقة 2 من الدرجة 174 غرباً إلى الدرجة 168 غرباً. تقع المنطقة 39 الى الشرق من خط زوال غرينيتش ويمتد من الدرجة 48 شرقاً إلى الدرجة 54 شرقاً ودرجة طول الخط المركزي 51 درجة شرقاً.

الشكل 4-29 وسطاء إسقاط UTM في المناطق

يتم تقليل مقياس خط الزوال المركزي بنسبة 0.04٪، ما يسمح بتوفير خطين موازيين لخط الزوال المركزي شرقاً وغرباً يكون فيها المقياس صحيحاً، وفي خط الاستواء تكون المسافة بين خط الزوال المركزي والخط القياسي 1 درجة و37.2 ثانية. تُسقط كل منطقة بشكل منفصل ولذلك تستخدم شبكة UTM لرسم الخرائط الطوبوغرافية على أوراق منفصلة، وليس لخرائط العالم أو لدولة، حيث يعاني هذا الإسقاط من مشكلة؛ هي أن ورقتين من منطقتين متجاورتين لا تلتئمان تمام الالتئام. ويمكن عند الضرورة إظهار نقاط من منطقة مجاورة على ألا يتجاوز بعدها عن حدود المنطقة الأساسية للخريطة أكثر من 40 كيلومتراً.

يتوفر لكل منطقة نظامان مرجعيان للإحداثيات المسقطة، الأول في نصف الكرة الشمالي، والثاني في نصف الكرة الجنوبي، وتتطابق جميع وسطاء الإسقاط في كلا النظامين، باستثناء الشماليات الزائفة التي تكون قيمتها 0 متر في النصف الشمالي، و 10,000,000 متر في النصف الجنوبي.

إحداثيات قمة فندق برج العرب بدبي 25°8'29.205"N 55°11'6.021"E وهي نقطة في المنطقة 40 شمالاً من UTM، إحداثياتها 317040.01 متر شرقاً و 2781841.44 شمالاً، وبالتالي يمكن كتابة إحداثياتها في UTM بطريقتين:

- رقم المنطقة مع إضافة الحرف الذي يشير إلى نصف الكرة ثم الشرقيات تليها الشماليات:

40N 317040 2781841

- رقم المنطقة ورقم النطاق العرضي (انظر 4.10.3.1.3 النظام المرجعي للشبكة العسكرية) ثم الشرقيات تليها الشماليات:

40R 317040 2781841

يتميز UTM بوسطائه الثابتة لكل منطقة في أحد نصفي الكرة الشمالي أو الجنوبي، ويستخدم النظام المرجعي UTM في جميع الدول التي يمر بها خط الطول الرئيسي للمنطقة شمالاً، ويستخدم نظيره الجنوبي في جميع الدول التي يمر بها خط الطول ذاته جنوباً.

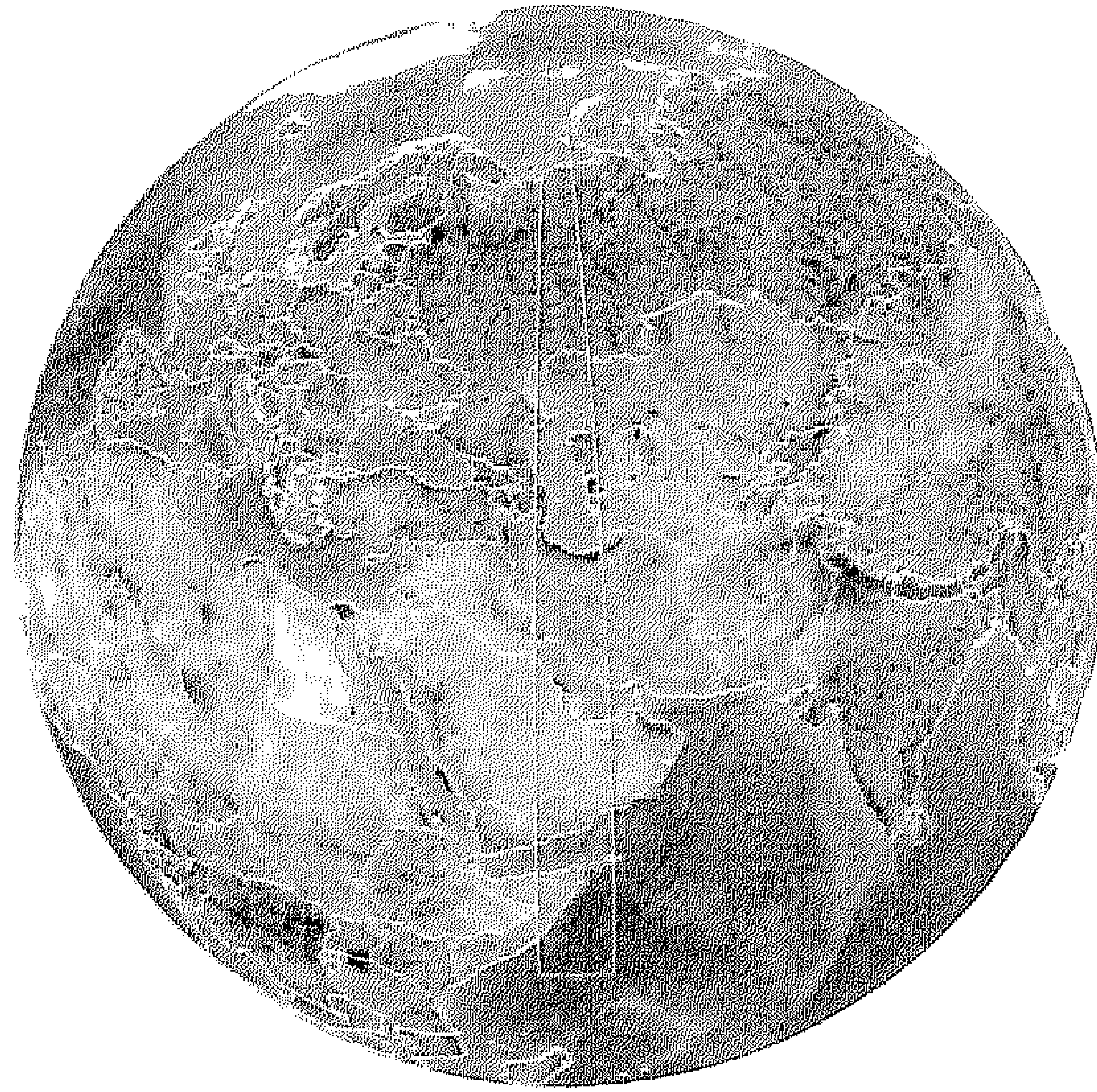
إسقاط UTM مستقل عن النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية المستخدم معه، ولا ينحصر بالنظام WGS، إذ يمكن تطبيق UTM على أي نظام مرجعي. يتوفر عدد كبير من الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة باستخدام UTM في كل منطقة شمالاً أو جنوباً، ولذلك يجب ذكر اسم النظام المرجعي مع UTM لإزالة أي التباس.

النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة WGS 84 / UTM zone 39N مثلاً يعتمد على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84 ويُستخدم في النصف الشمالي من الكرة في كل من الصومال واليمن وعُمان والسعودية والإمارات العربية المتحدة والبحرين وقطر وإيران والكويت والعراق وتركمنستان وأذربيجان وروسيا الاتحادية وكازاخستان. ويرمز له في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 32639. النص المعروف (WKT) التالي يبين وسطاء هذا النظام:

```
PROJCS["WGS 84 / UTM zone 39N",
  GEOGCS["WGS 84",
    DATUM["World Geodetic System 1984",
      SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
      AUTHORITY["EPSG","7030"]],
    AUTHORITY["EPSG","6326"]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",3.14159265358979,
    AUTHORITY["EPSG","9001"]],
  AUTHORITY["EPSG","4326"]],
  UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]],
  PROJECTION["Transverse Mercator"],
PARAMETER["Latitude of natural origin", "0"],
PARAMETER["Longitude of natural origin", "51"],
PARAMETER["Scale factor at natural origin", "0.9996"],
PARAMETER["False easting", "500000"],
PARAMETER["False northing", "0"],
AUTHORITY["EPSG","32639"],
AXIS["Easting",east],
AXIS["Northing",north]]
```

يعتمد هذا النظام على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84، ويعتمد من ناحية أخرى على إسقاط ميركاتور المستعرض.

النظير الجنوبي لهذا النظام هو WGS 84 / UTM zone 39S، ويستخدم في نصف الكرة الجنوبي، لكن خط الطول الرئيسي فيه – بالصدفة – لا يمر إلا في دولة واحدة هي جزيرة مدغشقر. يرمز لهذا النظام في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 32739. وتتطابق جميع وسطاء الإسقاط في كلا النظامين، باستثناء الشماليات الزائفة التي تكون قيمتها 10,000,000 متر في النصف الجنوبي.



الشكل 4-30 حدود استخدام النظام WGS 84 / UTM zone 39N

وبما أن UTM هو أحد تطبيقات إسقاط ميركاتور المستعرض، فإن العلاقات المباشرة والعكسية في UTM هي ذاتها في إسقاط ميركاتور المستعرض.



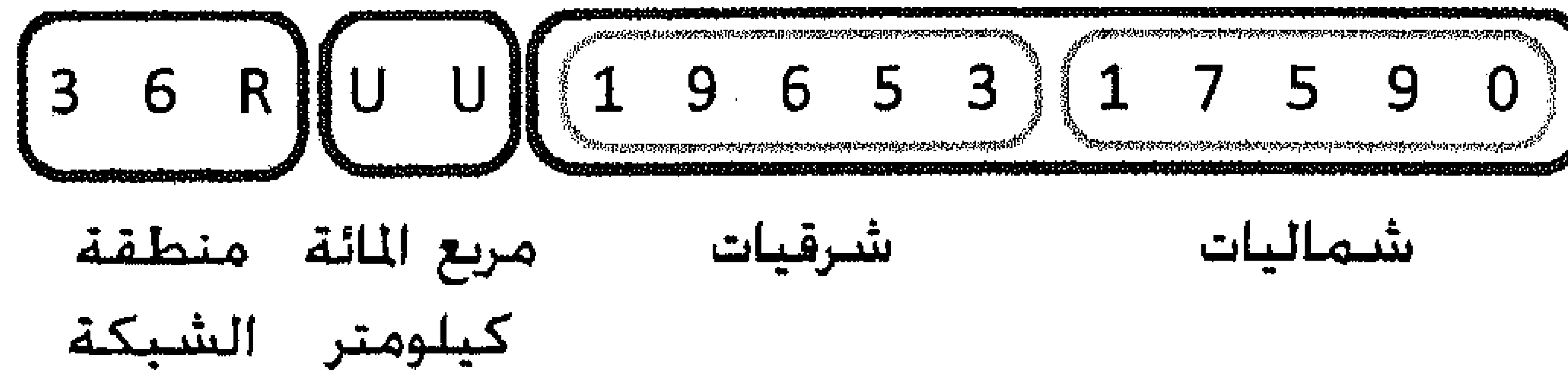
يمكن في ArcGIS إنشاء بيانات مكانية (نقاط) من جدول يتضمن إحداثيات نقاط منسوبة إلى نظام UTM (أو توليد جدول بإحداثيات UTM من نظام إحداثيات آخر) من خلال الأداة Convert Coordinate Notation في ArcToolbox:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Convert Coordinate Notation

4.10.3.1.3. النظام المرجعي للشبكة العسكرية (MGRS)

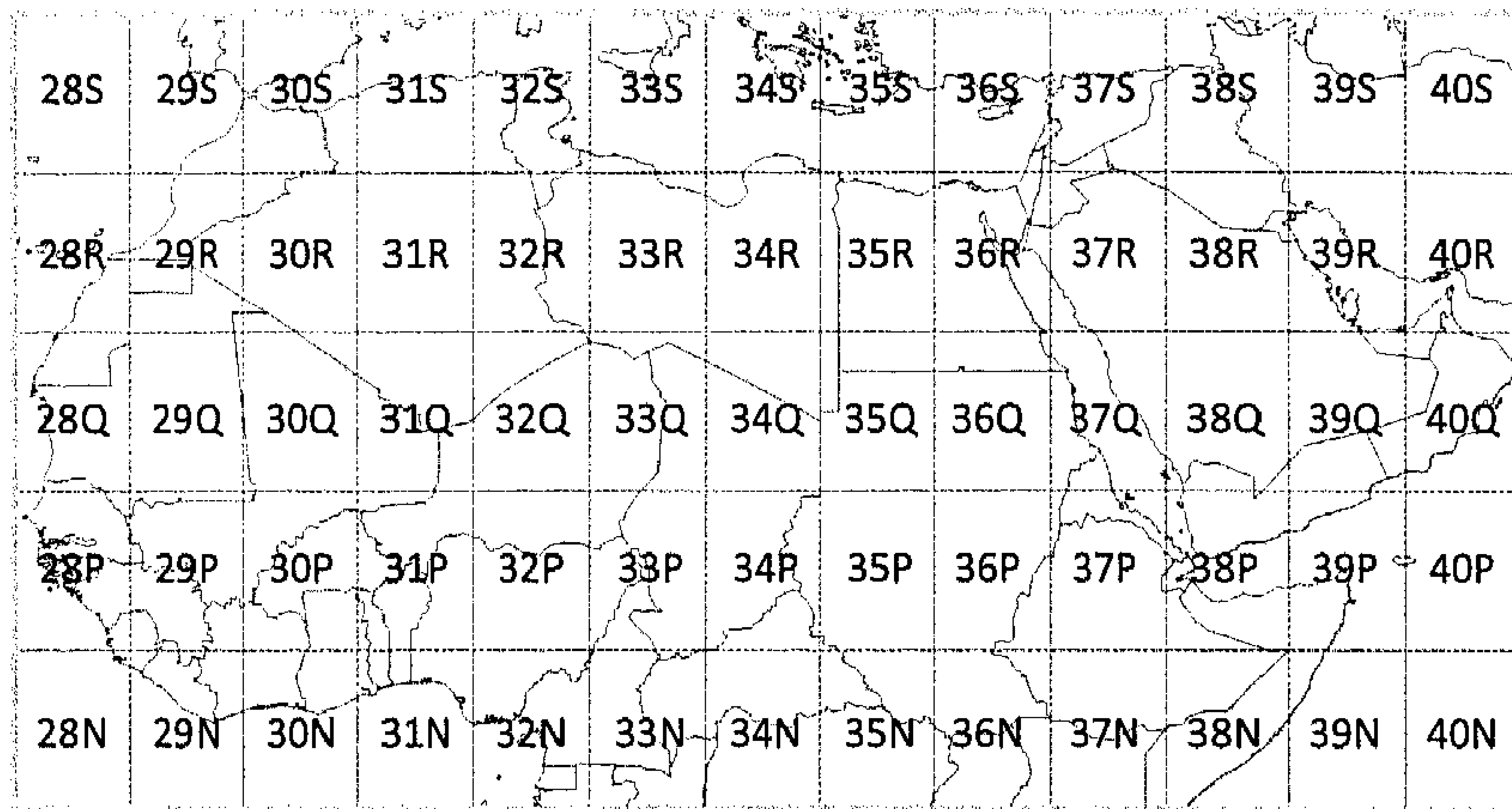
تستخدم جيوش حلف شمال الاطلسي (NATO) **النظام المرجعي للشبكة العسكرية** (Military Grid Reference System: MGRS) نظاماً قياسياً لتحديد مواقع النقاط على الأرض بكاملها. يعتمد MGRS بصورة رئيسية على شبكة UTM، وهو مستخدم أيضاً في الأغراض المدنية، ويتوفر في معظم برمجيات نظام المعلومات الجغرافية.

تتألف الإحداثيات في النظام المرجعي للشبكة العسكرية من ثلاثة أجزاء:



الشكل 4-31 مكونات MGRS

- **منطقة الشبكة** (grid zone): تم تقسيم المناطق في UTM إلى 20 **نطاقاً عرضياً** (latitude band) بحيث يقطع كل نطاق جميع مناطق UTM الستين عرضاً، تسمى النطاقات بحروف تبدأ من C جنوباً إلى X شمالاً، ولا يستخدم الحرفان I وO منعاً للالتباس.



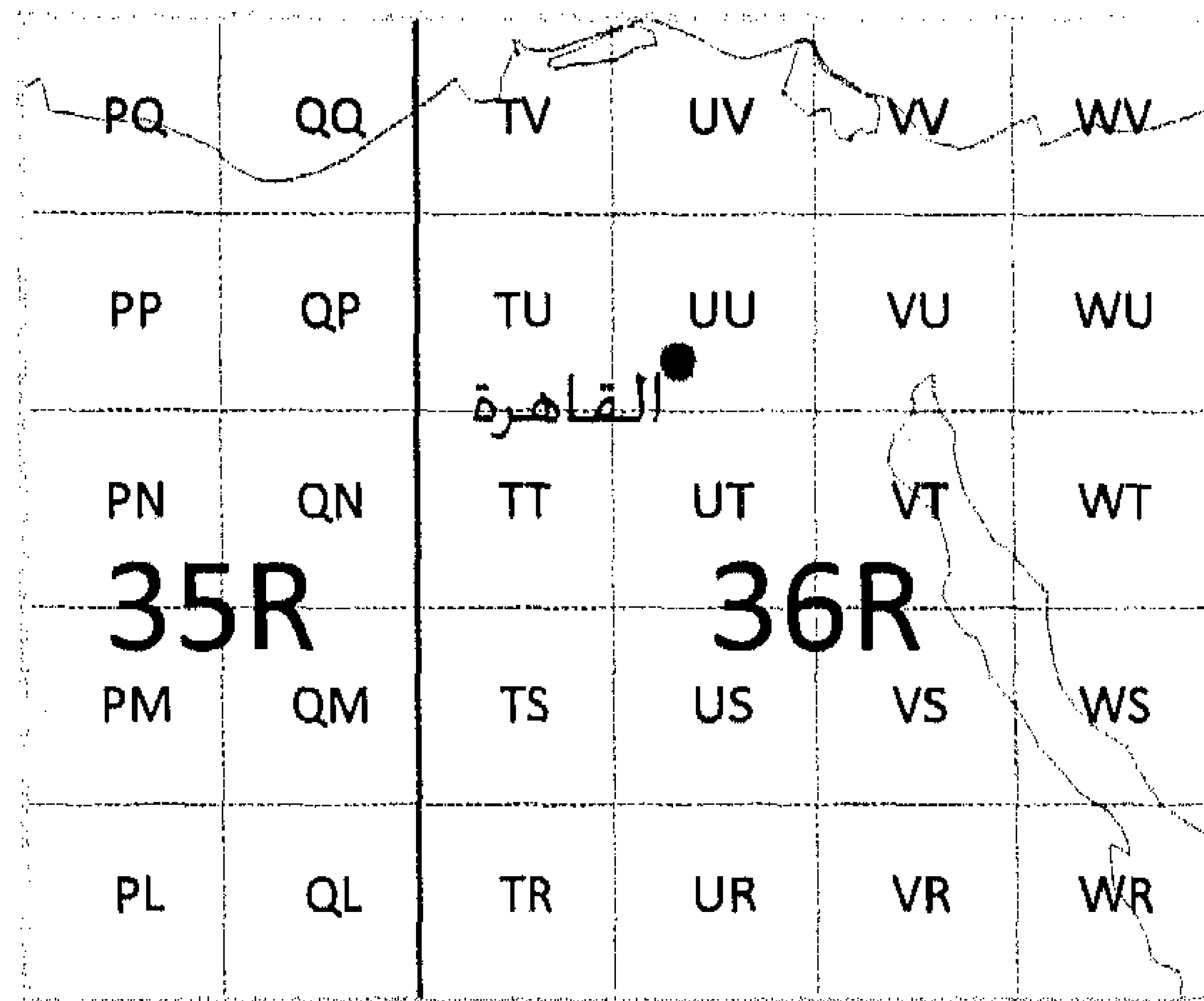
الشكل 4-32 مناطق الشبكة في MGRS

يمتد كل نطاق عرضي 8 درجات، بينما يمتد النطاق العرض X على 12 درجة. يسمح هذا التقسيم بإيجاد مناطق شبكة أبعادها 8° × 6°، يتكون اسم كل واحدة منها من رقم منطقة UTM وحرف النطاق العرضي، مثل منطقة الشبكة 36R التي تغطي جزءاً من مصر، حيث 36 رقم منطقة UTM التي تمتد بين خطي الطول 30° و 36° شرقاً وR الحرف الذي يدل على النطاق العرضي الذي يمتد بين خطي العرض 24° و 32° شمالاً.

- مربعات المائة كيلومتر (100,000-meter square): بغض النظر عن مناطق الشبكة، تُقسم مناطق UTM إلى مربعات أبعاد كل منها 100,000 متر بحيث يكون لزواياها

إحداثيات UTM صحيحة من مضاعفات 100,000 متر أيضاً. ويتألف اسم المربع من حرف يدل على العمود (من A إلى Z ولا يستخدم الحرفان I و O) متبوعاً بحرف يدل على السطر (من A إلى V ولا يستخدم الحرفان I و O).

تختلف طريقة ترقيم سطور MGRS حسب المرجع الجيوديسي، ففي المراجع الحديثة مثل WGS 84 يكون الحرف الدالّ على السطر الأول إلى الشمال تماماً من خط الاستواء هو A في مناطق UTM ذات الرقم المفرد وF في مناطق UTM ذات الرقم المزدوج. تقع مدينة القاهرة في مصر في مربع UU ضمن منطقة الشبكة 36R، وبالتالي يمكن التعبير عن إحداثيات أهرامات الجيزة في القاهرة في MGRS بـ 36RUU وذلك في مستوى من الدقة يصل إلى مائة كيلومتر فقط.

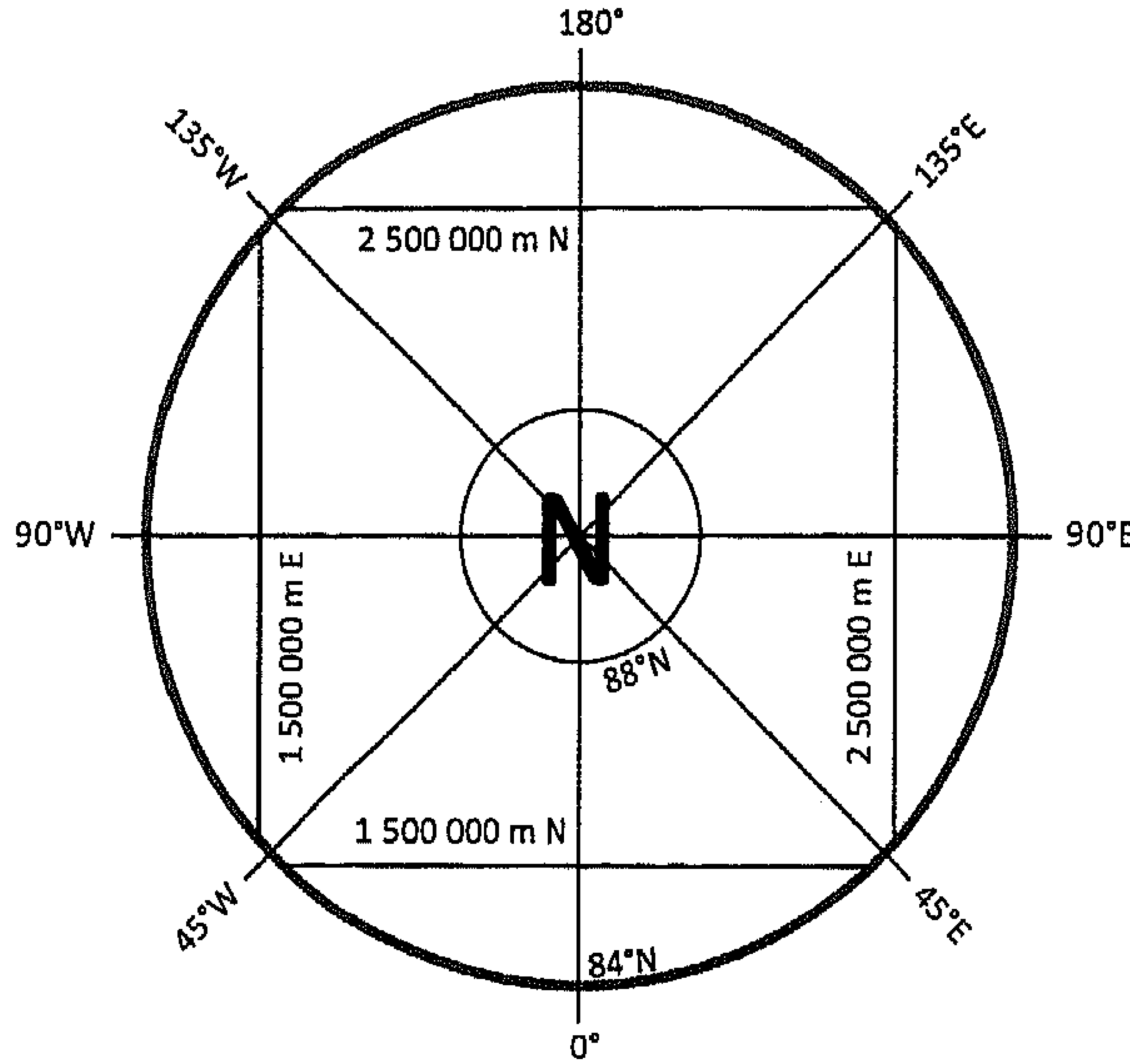


الشكل 4-33 مربعات المائة كيلومتر في MGRS

- الجزء الثالث من نظام إحداثيات MGRS هو **الموقع العددي** (numerical location) الذي يشير إلى موقع النقطة ضمن مربع المائة كيلومتر ويكون في الحد الأقصى من 10 أرقام، وتصل دقة الإحداثيات إلى 1 متر. تشير خمسة الأرقام الأولى إلى **الشرقيات** (easting) مقيسة من الضلع الأيسر للمربع، وتشير خمسة الأرقام الثانية إلى **الشماليات** (northing) مقيسة من الضلع الأسفل للمربع. عندما تكون دقة الإحداثيات عشرة أمتار يكون الموقع العددي في نظام MGRS مؤلفاً من 8 أرقام، وهكذا.

في MGRS يتم تغطية المناطق الواقعة خارج شبكة UTM بشبكة نظام الإحداثيات **المجسِّم القطبي العالمي** (Universal Polar Stereographic: UPS)، وكما في UTM، يستخدم UPS

شبكة ديكارتية مترية على سطح إسقاط مطابق باستخدام الإسقاط المجسّم القطبي. يغطي UPS المنطقة القطبية الشمالية إلى الدرجة 84 شمالاً والمنطقة القطبية الجنوبية إلى الدرجة 80 جنوباً وهي المنطقتان خارج نطاق تغطية شبكة UTM، ويتداخل معها بمقدار 30 دقيقة لتوفير منطقة مشتركة بين النظامين.



الشكل 4-34 شبكة UPS في القطب الشمالي

مشروع:

يراد إيجاد إحداثيات MGRS لأهرام خفرع (Pyramid of Khafre) في الجيزة في القاهرة بدقة متر واحد، علماً بأن إحداثيات قمة الهرم في UTM هي 36N 319653 3317590.

الحل:

حسب الخرائط السابقة، يقع هرم خفرع في منطقة الشبكة 36R وفي مربع المائة كيلومتر UU، وبالتالي يمكن كتابة إحداثيات قمة الهرم في نظام MGRS بدقة متر كما يلي:

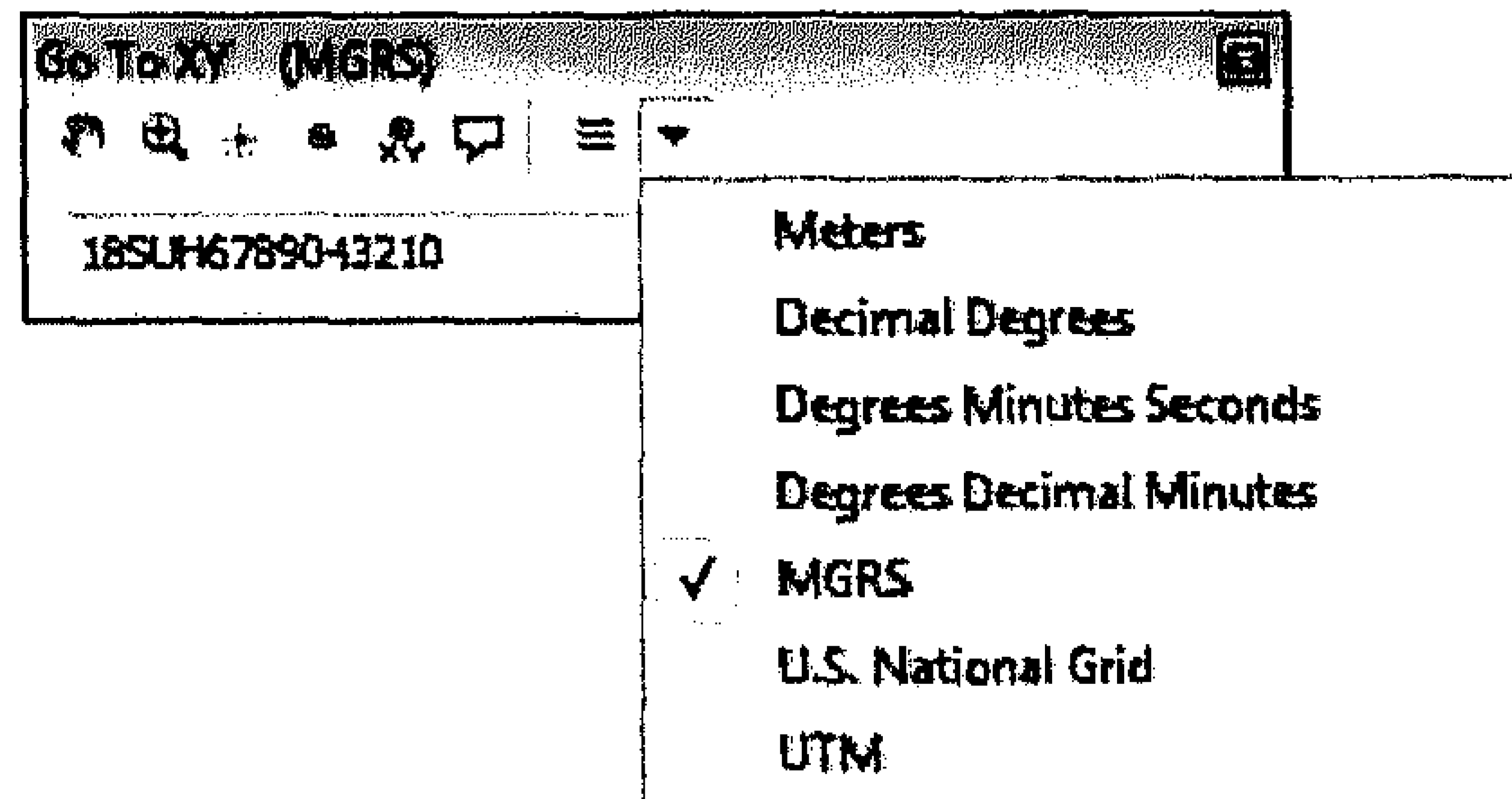
36RUU1965317590

يمكن كتابة هذه الإحداثيات في دقة عشرة أمتار ومائة متر و 1 كلم و10 كلم ومائة كلم ودقة 6° × 8° كما يلي:

36RUU19651759
36RUU196175
36RUU1917
36RUU11
36RUU
36R



جميع الأدوات في ArcGIS تـدعم اسـتخدام نظـام MGRS بطريقـة مشـابهة لأنـواع الإحـداثيات الأخرى. مثل عرض إحداثيات MGRS في شريط الحالة (status bar)، أو استخدام إحداثيات MGRS في أي أداة أو **أداة معالجـة جغرافيـة** (geoprocessing tool) تتطلـب إدخـالاً مـن المستخدم. يمكن مثلاً الانتقال إلى إحداثيات نقطة في صيغة MGRS من خلال الأداة Go To XY في شريط الأدوات Tools وذلك بعد انتقاء MGRS من القائمة المنسدلة Units:



الشكل 4-35 استخدام نظام MGRS في أداة Go To XY في ArcGIS



يمكن في ArcGIS إنشاء طبقة بيانات مكانية (نقاط) من جدول يتضمن إحداثيات نقاط منسوبة إلى نظام MGRS (أو توليد جدول بإحداثيات MGRS من نظام إحداثيات آخر) من خلال الأداة Convert Coordinate Notation في ArcToolbox:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Convert Coordinate Notation

ORACLE SPATIAL

يمكن تغيير الإحداثيات في Oracle Spatial بين MGRS وأي نظام مرجعي آخر باستخدام البرنامجين الفرعيين to_USNG و from_USNG في حزمة SDO_CS.

المثال التالي يقوم بتغيير الإحداثيات الجغرافية (بالدرجة العَشْرية) للنقطة السابقة من WGS 84 إلى MGRS:

```
SQL> SELECT sdo_cs.to_USNG (SDO_GEOMETRY(2001, 4326, SDO_POINT_TYPE
(31.1307235, 29.9759442, NULL), NULL, NULL), 1) from DUAL;
-----------------------------------
36RUU1965317590
```

المثال التالي يقوم بتغيير إحداثيات النقطة السابقة من MGRS إلى WGS 84:

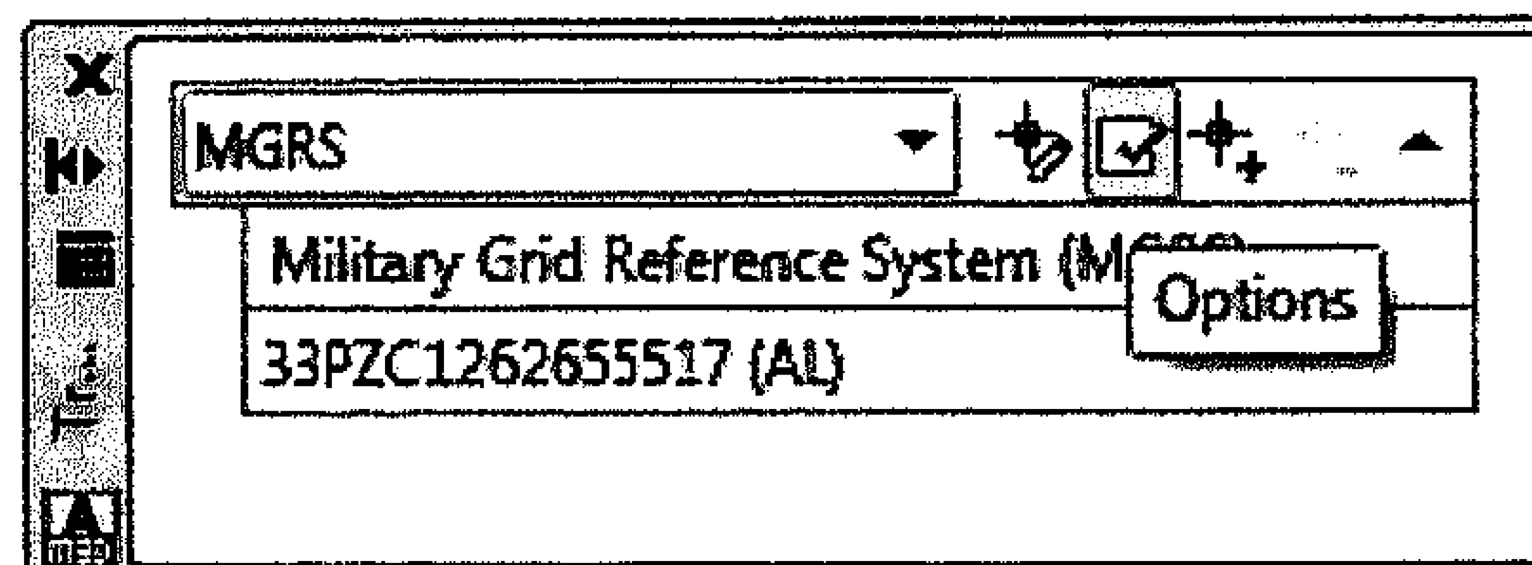
```
SQL> SELECT sdo_cs.from_USNG ('36RUU1965317590', 4326) "WGS84" from dual;
-----------------------------------
SDO_GEOMETRY(2001, 4326, SDO_POINT_TYPE(31.1307235, 29.9759442, NULL), NULL,
NUL
```

AutoCAD® Map 3D

يمكن استخدام MGRS في أوتوكاد لعرض الإحداثيات أو إدخالها في الدقة المطلوبة من خلال أداة تعقب البيانات باستخدام أداة تعقب الإحداثيات (Coordinate Track) التي يمكن الوصول إليها من:

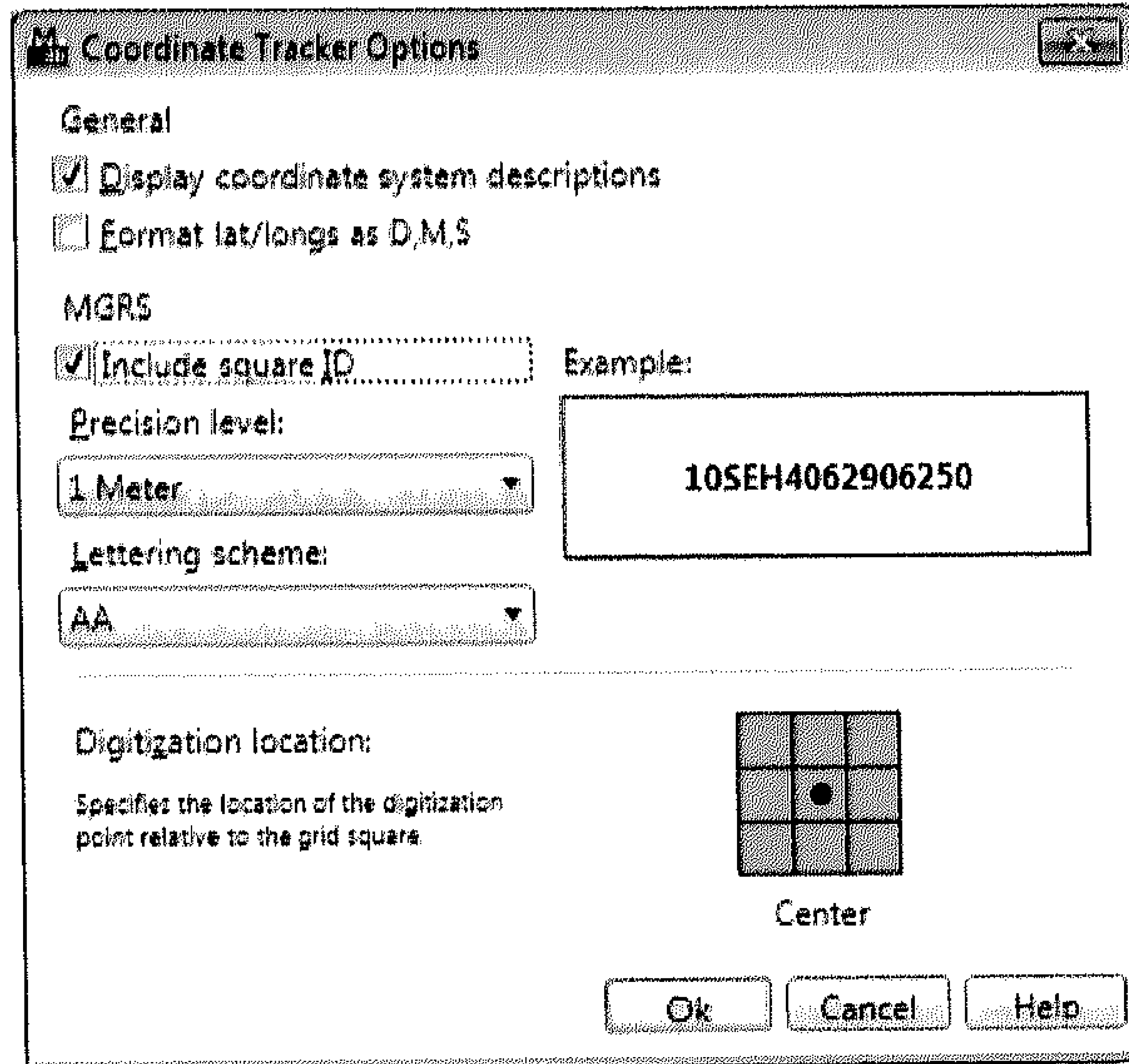
Ribbon: Analyze > Geo Tools > Coordinate Track

يمكن التحول إلى MGRS من خيارات أداة التعقب:



الشكل 4-36 خيارات أداة تعقب البيانات في AutoCAD Map 3D

وعند استخدام MGRS لإنشاء البيانات يمكن تحديد الموقع الذي يبدأ فيه إنشاء هذه البيانات؛ في مركز مربع الشبكة أو أحد زواياه الأربع:



الشكل 4-37 صندوق حوار خيارات تعقب الإحداثيات



يتوفر في FME مجموعة من المحوّلات (transformers) التي تدعم العمليات ذات الصلة بنظام MGRS. يبين الجدول التالي هذه المحولات:

المحوّل	الشرح
LatLongToMGRSConverter	يحسب رمز MGRS بناءً على قيم زاويتي العرض والطول الموجودة في جدول **سمات المعالم** (feature's attributes) أو في نص يدخله المستخدم، ويقوم بتخزين النتيجة في الجدول في حقل يحدده المستخدم.
MGRSGeometryExtractor	يحسب رمز MGRS بناءً على **هندسة المعالم** (feature's geometry). إذا لم تكن المعالم نقاطاً، يقوم بحساب رمز MGRS لأول نقطة من هندسة المعالم. يقوم هذا المحوّل بتخزين النتيجة في الجدول في حقل يحدده المستخدم.

MGRSGeometryReplacer	يحوّل رمز MGRS الموجود في جدول سمات المعالم أو في نص يدخله المستخدم إلى إحداثيات زاويتي العرض والطول. يتم استبدال هندسة المعالم بنقاط يتم إنشائها في موقع تلك الإحداثيات.
MGRSToLatLongConverter	يحوّل رمز MGRS الموجود في جدول سمات المعالم أو في نص يدخله المستخدم إلى إحداثيات زاويتي العرض والطول. يقوم هذا المحوّل بتخزين النتيجة في الجدول في حقل يحدده المستخدم.

الجدول 4-4 محوّلات FME ذات الصلة بنظام MGRS

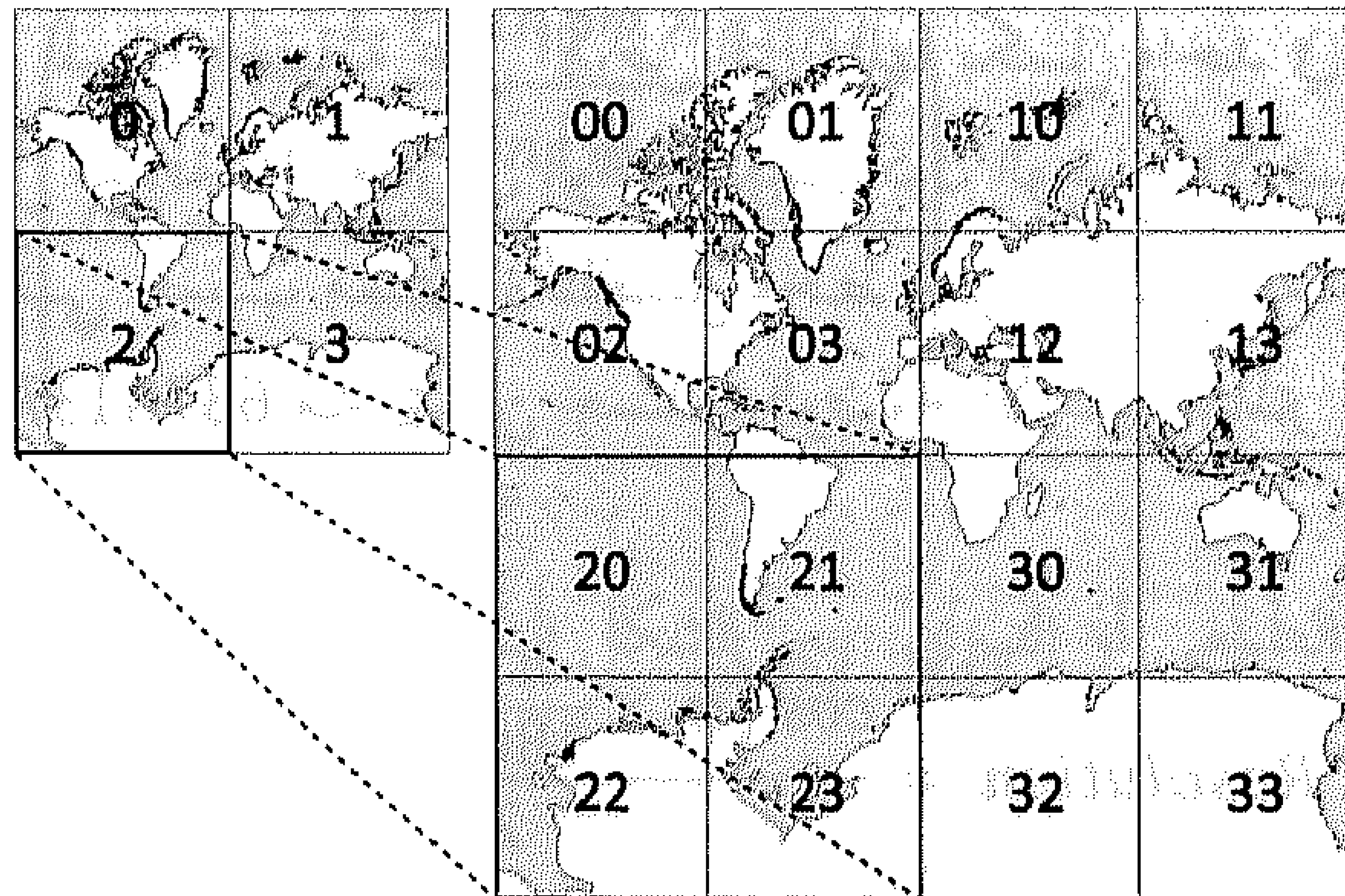


لعرض إحداثيات MGRS في Google Earth بدلاً من زوايا العرض والطول، اختر:

Tools > Options > 3D View > Show Lat/Long > Military Grid Reference System

4.10.3.1.4. إسقاط ويب ميركاتور

توفر خرائط ويب مثل Google Maps وMicrosoft Bing وArcGIS Online خريطة موحّدة للعالم تسمح للمستخدم **بالتجوال** (pan) والتقريب/التبعيد (zoom) فيها مباشرة. ولجعل أداء هذه الخدمات سريعاً يتم معالجة الخرائط سلفاً **بتجزئتها** (map tiling) إلى **قطع مربعة** (tiles) في كل مستوى من مستويات التقريب/التبعيد. يسمح هذا الأسلوب أيضاً بتوفير البيانات من جهات مختلفة، هي الشركات المزودة لصور الأقمار الاصطناعية والخرائط، بحيث تلتئم أطراف المعالم الممتدة بين القطع المختلفة عندما يكون ما يشاهده المستخدم بيانات قادمة من مصادر مختلفة.



الشكل 4-38 نظام تجزئة الخرائط في إسقاط ويب ميركاتور

يستخدم نظام تجزئة الخرائط هذا إسقاطاً معدلاً عن إسقاط ميركاتور يسمى **ويب ميركاتور** (Web Mercator)، وهو إسقاط تحليلي يقوم على إسقاط خريطة العالم بحيث تكون حدودها قطعة مربعة في مستوى التفصيل الأول، وذلك لكي يتسنى تجزئتها إلى أربعة قطع مربعة متساوية في مستوى التفصيل الثاني، وهكذا تتجزأ كل قطعة في أي مستوى إلى أربعة قطع مربعة متساوية في مستوى التفصيل الذي يليه. ولأن إسقاط ميركاتور يتسبب بتشويه حجم وشكل المعالم الكبيرة مع زيادة المقياس من خط الاستواء باتجاه القطبين، حيث يصبح المقياس لا نهاية له في القطبين، تم تحديد إسقاط ويب ميركاتور بحيث يتوقف بين خطي العرض 80.05 شمالاً وجنوباً، مع المحافظة في ذات الوقت على نسبة بين عرض وارتفاع الخريطة تساوي 1:1.

لتبسيط العمليات الحسابية يستخدم هذا الإسقاط التقريب الثاني أي الكرة ذات القطر 6378137 متر، وليس المجسّم الإهليلجي، لأنه يستخدم لعرض الخريطة فقط، وليس لعرض الإحداثيات، ولعدم وجود حاجة إلى الدقة الإضافية التي يوفرها الإسقاط المبني على المجسّم الإهليلجي. يتسبب الإسقاط الكروي هذا بتشوّه المقياس بنسبة 0.33٪ في الاتجاه Y، وهي نسبة لا يمكن ملاحظتها.

بالإضافة إلى الإسقاط، يجب تحديد **الوضوح الأرضي** (ground resolution) أو مقياس الخريطة. في المستوى 1؛ أدنى مستويات التفصيل، بحيث تكون أبعاد الخريطة 512 x 512 بكسل. يتضاعف عرض وارتفاع الخريطة في كل مستوى من مستويات التفصيل المتعاقبة، في المستوى 2 تكون الأبعاد 1024 x 1024 بكسل، وهكذا. ويمكن حساب عرض وارتفاع الخريطة بالبكسل في أي مستوى على النحو التالي:

$$Map\ Width = Map\ Height = 256\ \times 2^{level}\ pixel$$

يبين الوضوح الأرضي المسافة الحقيقية على الأرض التي يمثلها بكسل واحد في الخريطة. على سبيل المثال، يمثل كل بكسل مسافة 10 أمتار في الواقع عندما يكون الوضوح الأرضي 10 متر / بكسل. يختلف الوضوح الأرضي حسب مستوى التفصيل وخط العرض الذي يقاس عنده. باستخدام نصف قطر الأرض 6378137 متر يمكن حساب الوضوح الأرضي بالمتر لكل بكسل) في أي مستوى كما يلي:

$$Ground\ Resolution = \frac{\cos\left(\varphi \times \frac{\pi}{180}\right) \times 2 \times \pi \times 6378137}{256 \times 2^{level}}$$

يختلف مقياس الخريطة، مثل الوضوح الأرضي، مع اختلاف مستوى التفصيل وخط العرض. ويمكن حساب مقياس الخريطة من الوضوح الأرضي، بفرض وضوح الشاشة 96 نقطة في البوصة (dot per inch: dpi):

$$Map\ Scale = 1 : \frac{\cos\left(\varphi \times \frac{\pi}{180}\right) \times 2 \times \pi \times 6378137 \times 96}{256 \times 2^{level} \times 0.0254}$$

يوضح الجدول التالي عرض وارتفاع الخريطة والوضوح الأرضي ومقياس الخريطة مقيسة عند خط الاستواء (φ=0):

مستوى التفصيل	عرض وارتفاع الخريطة (بكسل)	الوضوح الأرضي (متر/بكسل)	مقياس الخريطة (عند 96 dpi)
1	512	78,271.5170	1 : 295,829,355.45
2	1,024	39,135.7585	1 : 147,914,677.73
3	2,048	19,567.8792	1 : 73,957,338.86
الخ			

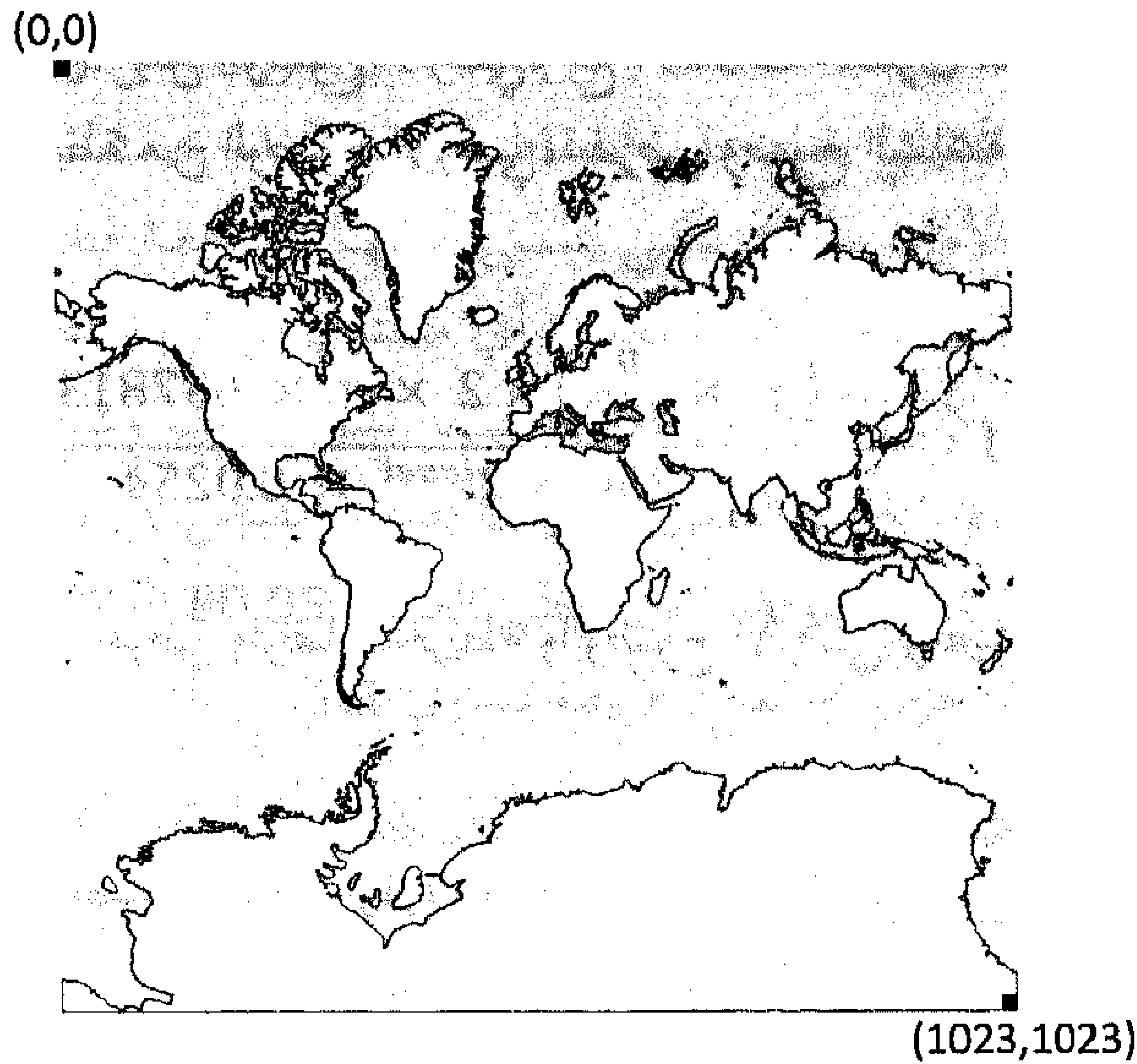
الجدول 4-5 قيم إسقاط Web Mercator في مستويات تفصيل مختلفة

يمكن معرفة إحداثيات الصورة في نظام تجزئة الخرائط لأي نقطة (λ, φ) وفي أي مستوى من مستويات التفاصيل كما يلي:

$$X = \left(\frac{\lambda + 180}{360}\right) \times 256 \times 2^{level}$$

$$Y = \left(0.5 - \frac{ln\left(\frac{1 + sin\left(\varphi \times \frac{\pi}{180}\right)}{1 - sin\left(\varphi \times \frac{\pi}{180}\right)}\right)}{4\pi}\right) \times 256 \times 2^{level}$$

حيث ln اللوغاريتم الطبيعي أو النيبري. يبين الشكل التالي إحداثيات الصورة بالبكسل في المستوى 2:



الشكل 4-39 إحداثيات الصورة بالبكسل

ومن أجل كفاءة الأداء، يتم تجزئة الصور في كل مستوى بحيث تكون أبعاد القطعة الواحدة 256 بكسلاً دائماً، وتأخذ القطع المربعة نظام ترقيم خاص في كل من هذه المستويات. يمكن إذاً الحصول على رقم القطعة التي تتضمن إحداثيات النقطة في أي مستوى يرغب به المستخدم.

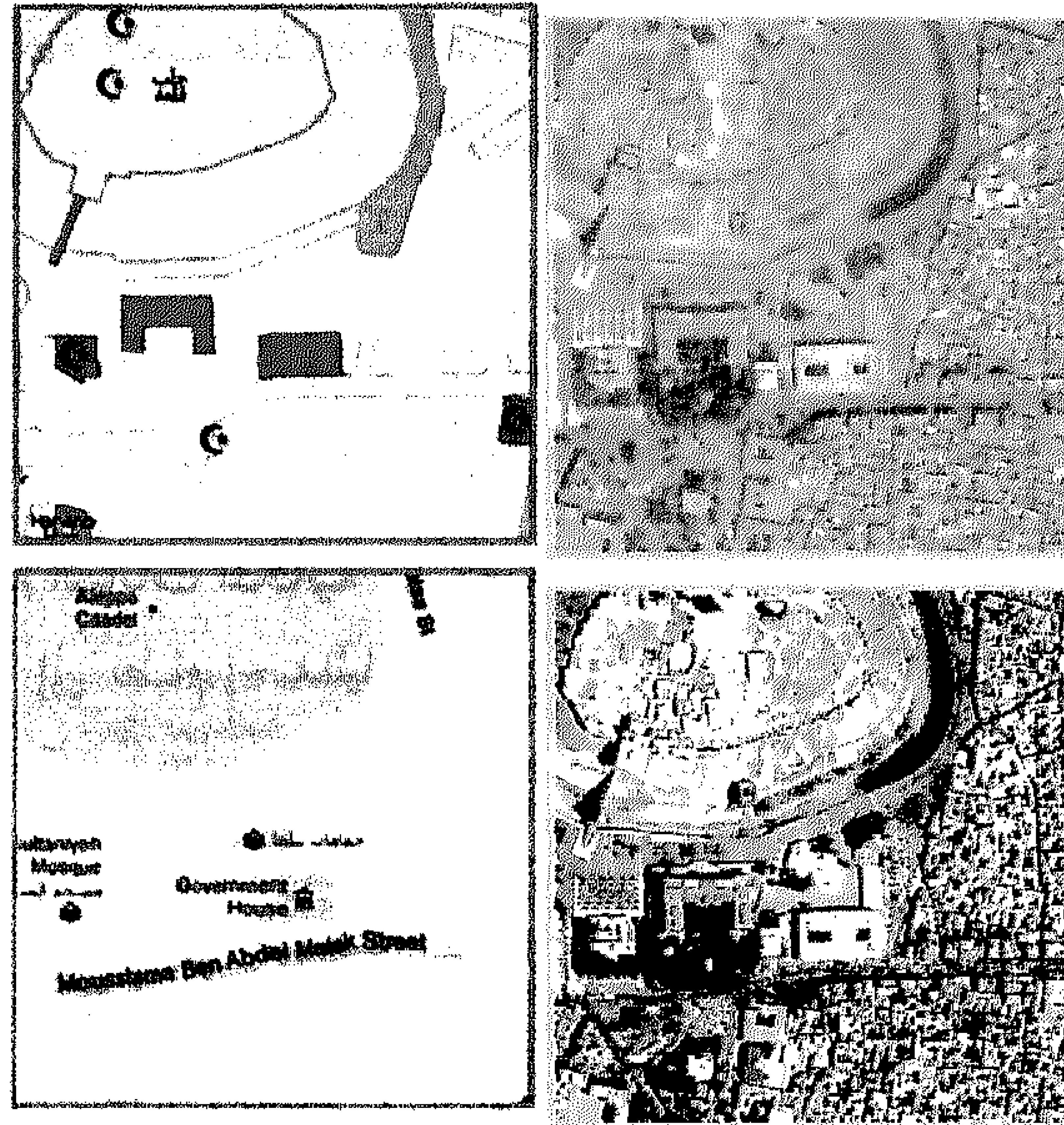
مشروع:

أوجد الرابط المباشر لتنزيل الصورة الجوية أو صورة الأقمار الاصطناعية لقلعة حلب في مستوى التفصيل 16 في كل من OpenStreetMap وGoogle Maps. علماً بأن إحداثيات مركز قلعة حلب:

$$\varphi = 36.1992798$$
$$\lambda = 37.1630135$$

الحل:

من الإحداثيات المعطاة نستنتج أن رقم القطعة في مستوى التفصيل 16 لدى Google و ArcGIS Online وOpenStreetMap هو العمود 39533 والصف 25690، أو القطعة رقم 12211210031231210 في نظام تجزئة الصور في Bing، وبالتالي يمكن تنزيل الصورة من رابط مباشر حسب نظام الروابط المعتمد في كل خدمة.



الشكل 4-40 القطعة من الخريطة ذاتها في أربع من خدمات الخرائط

يبين الشكل أعلاه قطعة الخريطة في أربعة من خدمات الخرائط، Bing أعلى اليمين، OpenStreetMap أعلى اليسار، ArcGIS Online أدنى اليمين، وGoogle Maps أدنى اليسار. وتوضح الأمثلة التالية نظام الروابط في OpenStreetMap وGoogle Maps و ArcGIS Online:

http://c.tile.openstreetmap.org/16/39533/25690.png
http://mt0.google.com/vt/lyrs=m@169000000&hl=en&x=39533&y=25690&z=16&s=Ga
http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer/tile/16/25690/39533

4.11. الإسقاط في برامج نظام المعلومات الجغرافية

يتوفر في معظم برامج نظام المعلومات الجغرافية ونظام تحديد المواقع العالمي والمساحة مكتبة مبنية من الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة العالمية والمحلية، وتقوم الشركات المطورة للبرمجيات بتضمين قاعدة البيانات هذه في برمجياتهم، كما تواظب على تحديثها مع إضافة أية أنظمة جديدة في قاعدة بيانات EPSG.

ومن المهم ملاحظة وجود أنظمة متقاربة وبأسماء مختلفة حيث تكون هذه الأنظمة أنواعاً محلية من إسقاط عالمي، فهي تحمل ذات الاسم مع لواحق مختلفة، ويعكس ذلك الفرق بين قيم الوسطاء التي تختارها كل دولة.

يعني إعداد بيئة العمل في ArcGIS وAutoCAD Map 3D إنشاء ملف خريطة (map file) جديد، وتعيين أحد الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة ليكون النظام المرجعي لملف الخريطة.

بعد ذلك يمكن إضافة البيانات المكانية من مصادر مختلفة وسيقوم ArcGIS و AutoCAD Map 3D بتحويلها تلقائياً إلى نظام إحداثيات ملف الخريطة باستخدام معادلات الإسقاط بحيث تتراكب بصورة صحيحة.

لاحظ أنه لا تُدخل أية تعديلات على إحداثيات البيانات الأصلية، لأن ArcGIS و AutoCAD Map يقومان بذلك لحظياً (on the fly) لأغراض العرض فقط.

بالإضافة إلى ذلك، يعني إعداد بيئة العمل أن قيم الإحداثيات التي يدخلها المستخدم أثناء إنشاء بيانات مكانية جديدة في ملف الخريطة يتم توقيعها حسب هذا النظام.

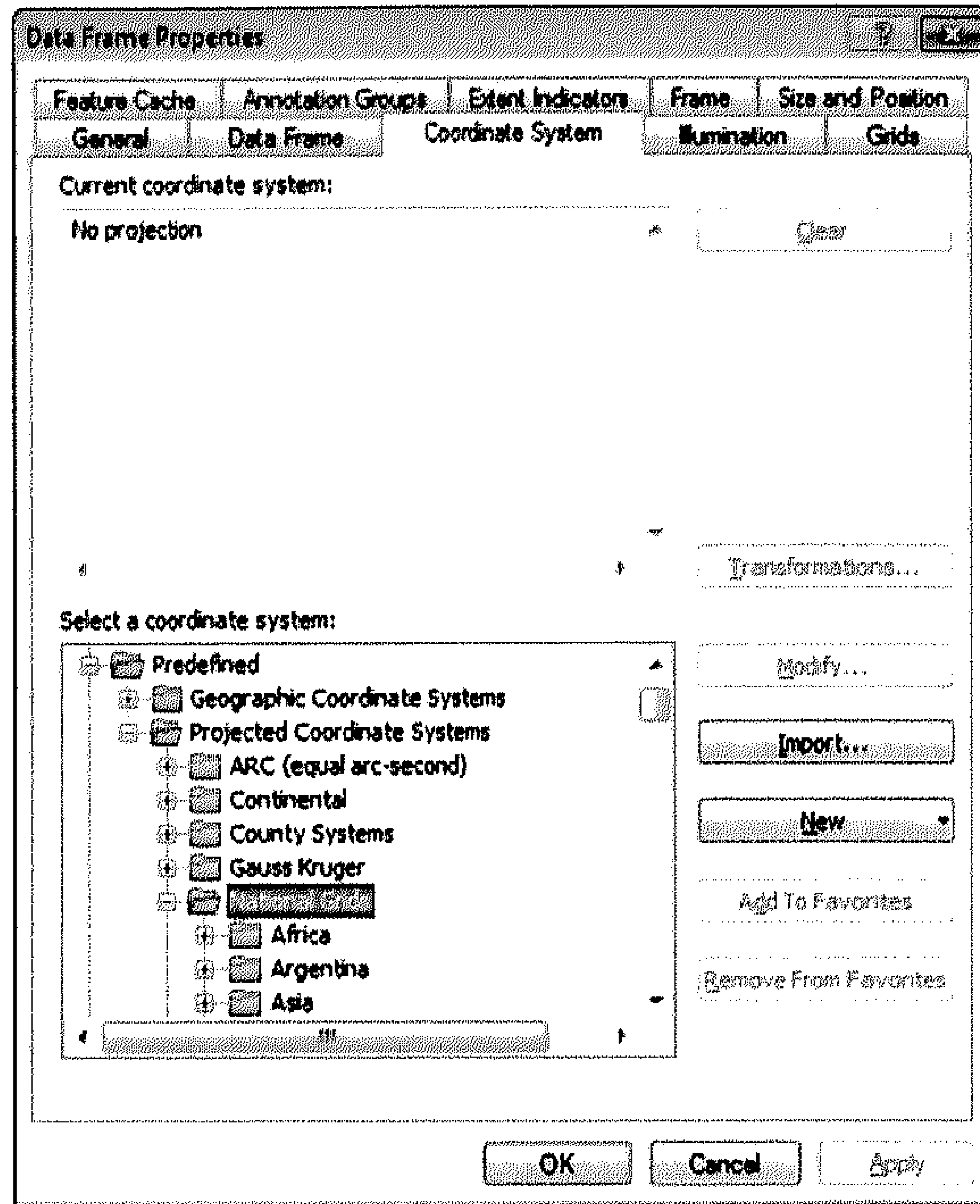
يمكن تعيين نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة لملف الخريطة بطريقة أخرى وذلك باستيراد بيانات مكانية تتضمن نظاماً مرجعياً للإحداثيات المسقطة. بعد استيراد هذه البيانات المكانية يقوم ArcGIS وAutoCAD Map 3D بتعيين ذات النظام المرجعي لإحداثياتها إلى ملف الخريطة تلقائياً.

إذا لم يكن النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة متوفراً في مكتبة البرنامج، يمكن للمستخدم أيضاً إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطة في البرنامج الذي يستخدمه في الحالات التي تتطلب ذلك، وهي حالات نادرة جداً.

4.11.1. انتقاء نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة



لإعداد بيئة العمل في ArcGIS يمكن انتقاء النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة من خلال مربع حوار خصائص إطار البيانات:



الشكل 4-41 صندوق حوار خصائص إطار البيانات في ArcGIS

View > Data Frame Properties... > Coordinate System

في القسم Select a coordinate system انتق Predefined ثم Projected Coordinate Systems، ثم انتقل إلى المجموعة التي تتضمن النظام المرجعي الذي تنوي استخدامه وقم بانتقائه.

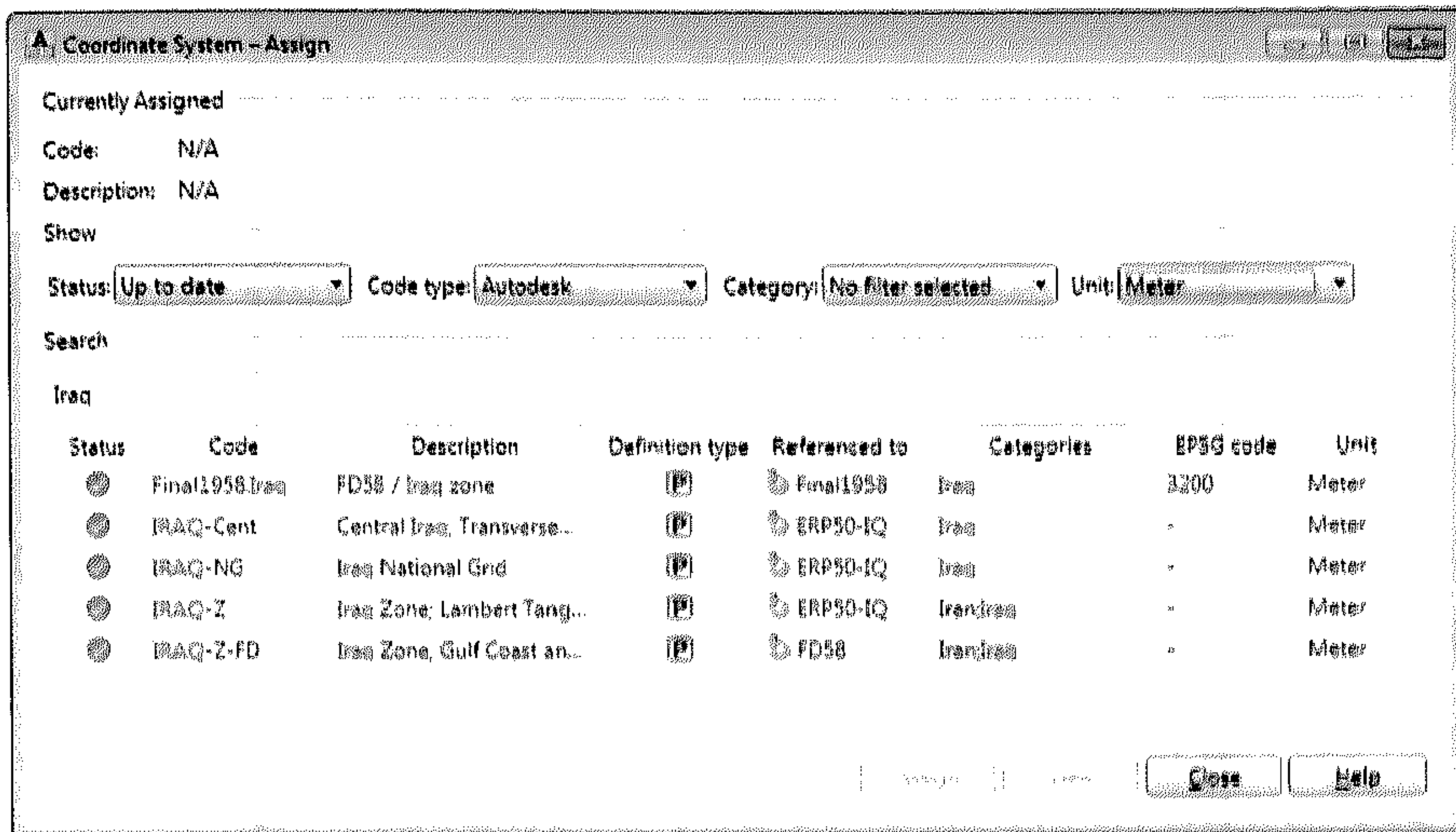
AutoCAD® Map 3D

يُعيّن نظام الإحداثيات المرجعي للملف الخريطة الحالي باستخدام الأمر Assign Global Coordinate System:

Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Assign
Command: MAPCSASSIGN

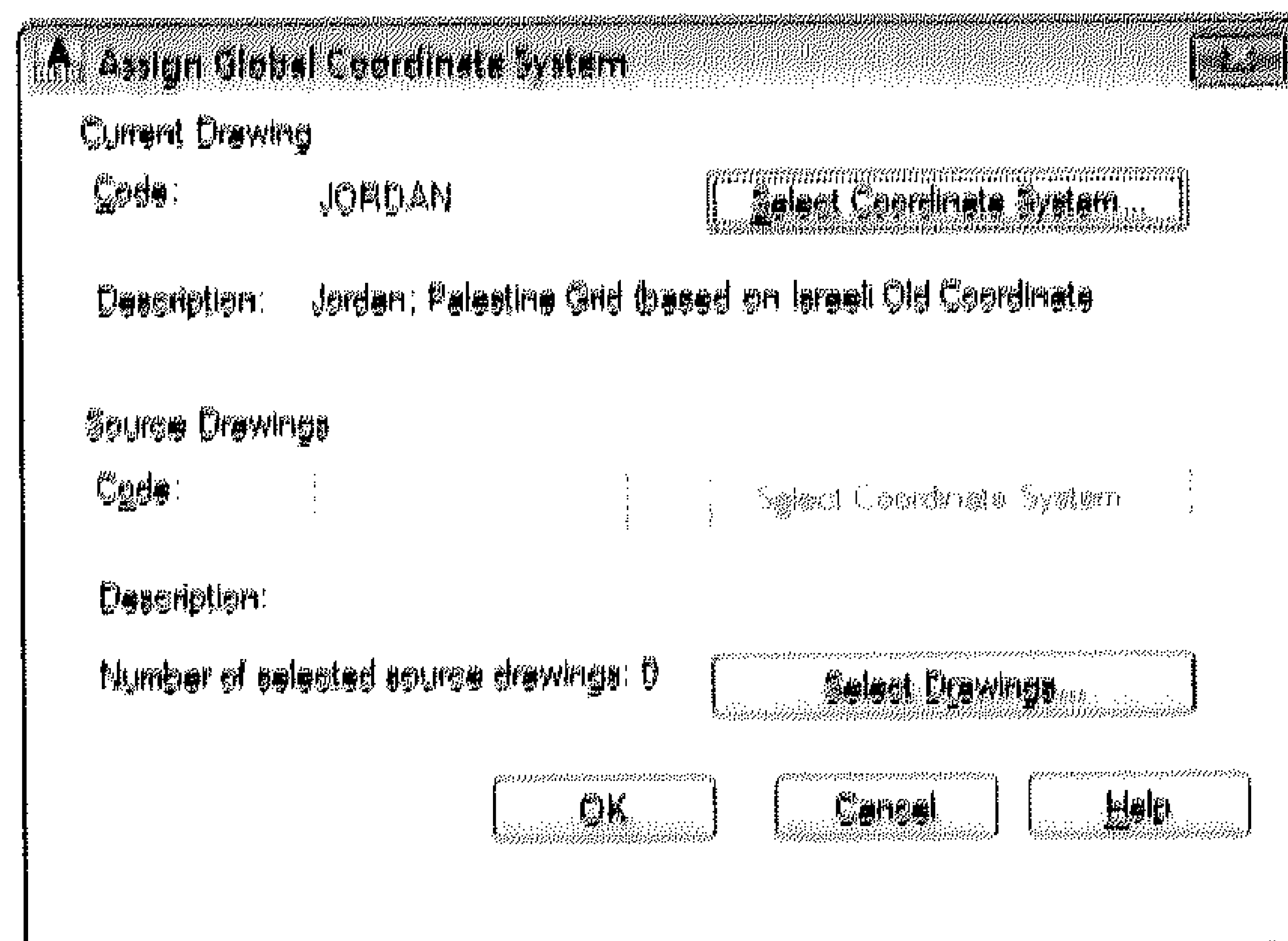
في مربع الحوار Assign - Coordinate System يمكن انتقاء نظام الإحداثيات من مكتبة الأنظمة المرجعية في AutoCAD Map 3D كما يمكن استخدام المرشّحات (filters) وإدخال جزء من اسم نظام الإحداثيات المسقطة لترشيح عدد الأنظمة المرجعية التي تظهر في المكتبة.

المثال التالي يبحث عن الأنظمة المرجعية للإحداثيات المسقطة المستخدمة في العراق بإدخال Iraq في مربع البحث وتحديد Meter في القائمة المنسدلة Unit:



الشكل 4-42 صندوق حوار Coordinate System - Assign في AutoCAD Map 3D

في الإصدارات الأقدم من أوتوكاد يمكن استخدام الأمر ADESETCRDSYS لتعيين نظام الإحداثيات المرجعي للملف الخريطة الحالي. في مربع الحوار Assign Global Coordinate System يمكن تحديد نظام الإحداثيات في القسم Current Drawing بإدخال رمز (Code) نظام الإحداثيات في AutoCAD Map 3D أو بالنقر فوق زر Select Coordinate System وانتقاء نظام الإحداثيات من المكتبة.



الشكل 4-43 صندوق حوار Assign Global Coordinate System

4.11.2. إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطة

تُعدّ ميزة إضافة نظام إسقاط جديد ضرورية للغاية لإنشاء أنظمة الإسقاط المحلية التي لا تتوفر في مكتبات البرامج. لا يتطلب إنشاء نظام إسقاط جديد في هذه البرامج أي خبرة خاصة، باستثناء معرفة وسطاء الإسقاط التي ذكرناها سابقاً. قبل إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطة قد يحتاج المستخدم إلى إنشاء النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية الذي يشكل الأساس له.

مشروع:

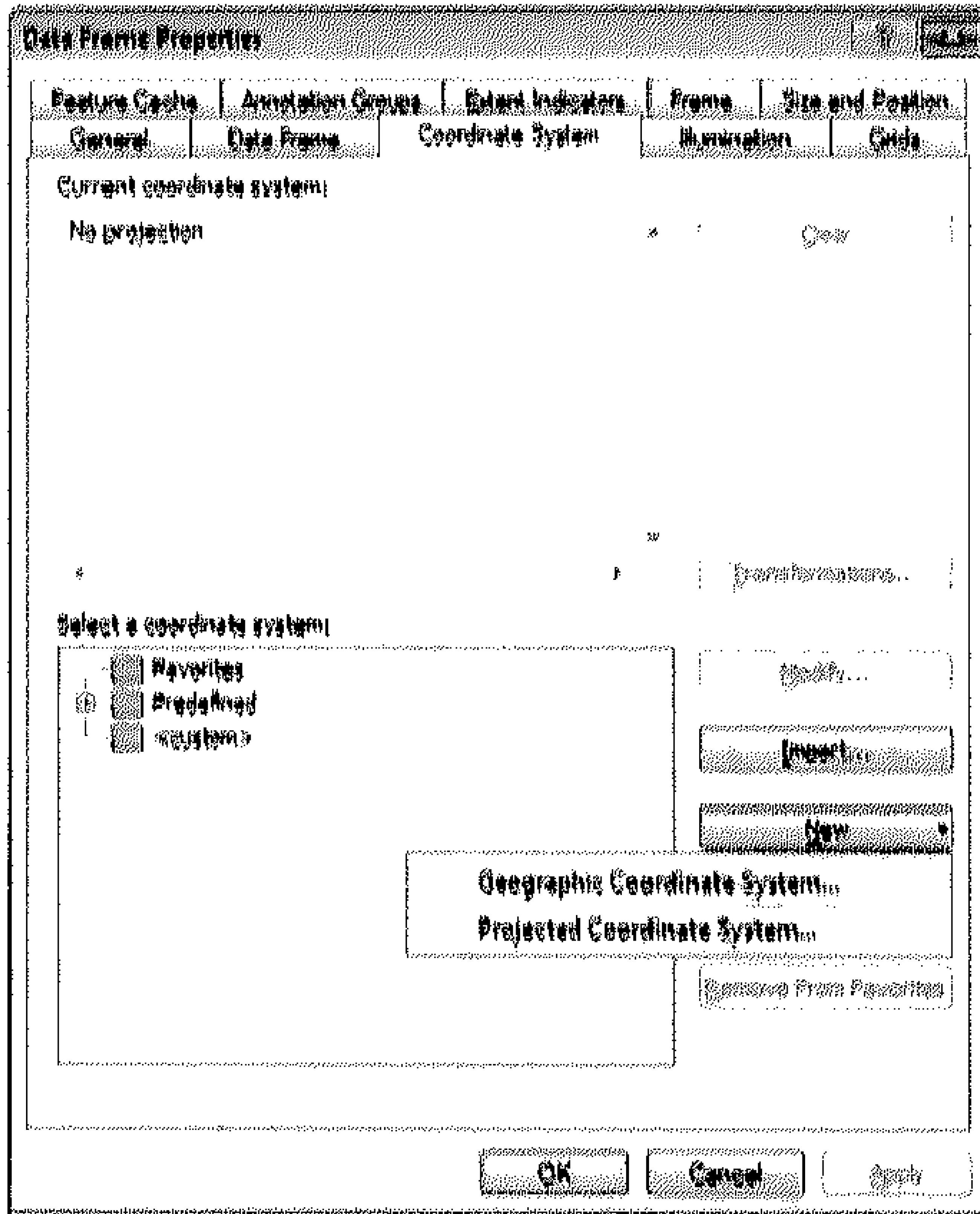
يراد إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة يعتمد على النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84 وإسقاط ميركاتور المستعرض بحيث يكون عامل المقياس في خط الزوال الرئيسي 0.04% وبحيث تمر دائرة العرض وخط الزوال الرئيسيين بالكعبة المشرفة التي إحداثياتها:

$$\varphi = 21°25' 21.15'' N = 21.422542°$$
$$\lambda = 39°49' 34.10'' E = 39.826139°$$



الحل:

يمكن تعريف نظام إسقاط جديد (Projected Coordinate System) في ArcGIS من خلال مربع حوار خصائص إطار البيانات:



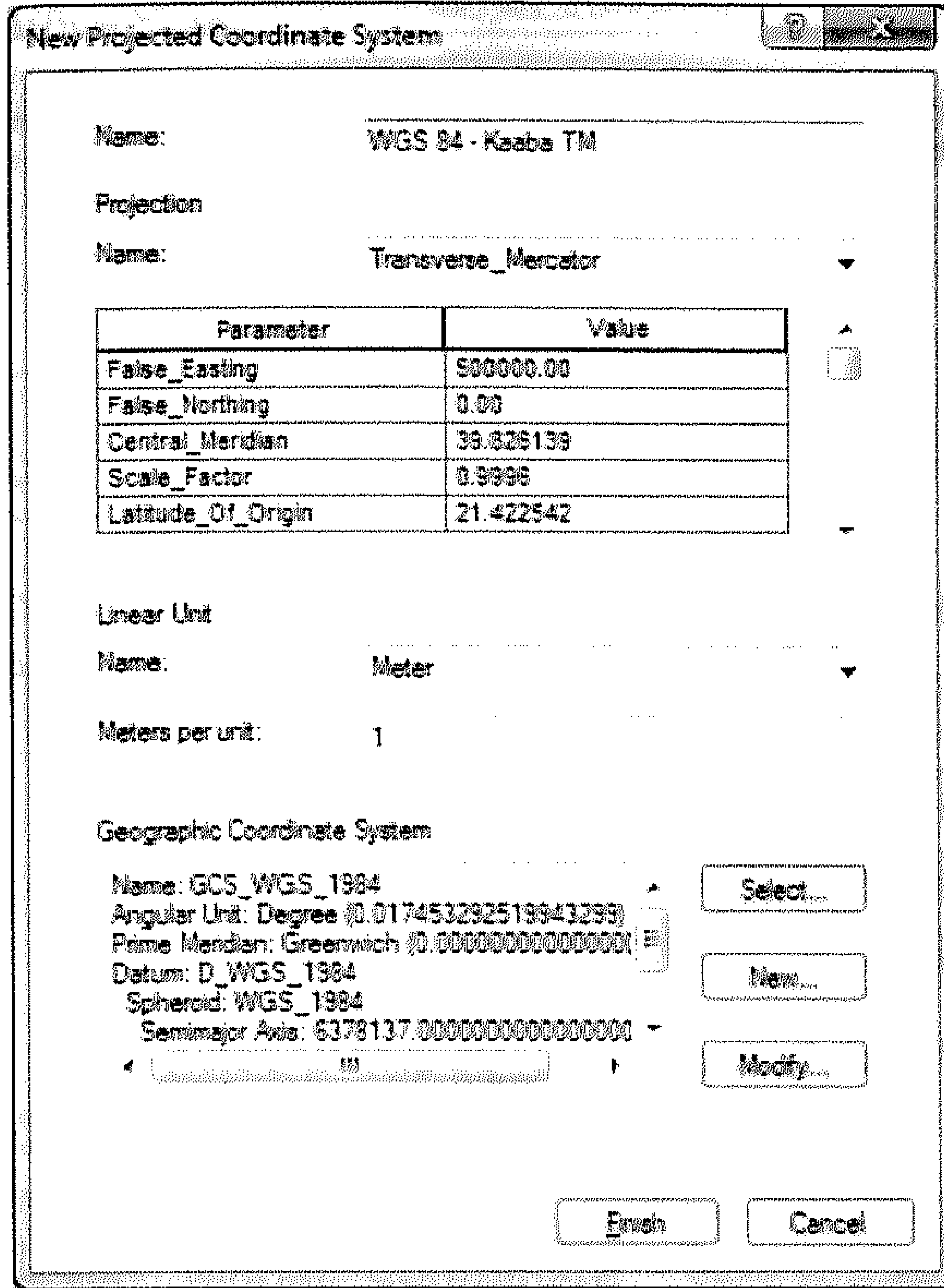
الشكل 4-44 صندوق حوار خصائص إطار البيانات في ArcGIS

نـدخل وسـطاء إسـقاط الخريطة في مربع حـوار "نظـام الإحـداثيات المسـقطة الجديـد"، مـع انتقـاء النظـام المرجعـي WGS 84 بالنقر على زر ...Select:

Select... > World > WGS 1984.prj

بعـد النقـر علـى زر موافـق، والعـودة إلى صـندوق الحـوار السـابق، لحفـظ نظـام الإحـداثيات الجديـد بـالنقر فـوق زر Add To Favorites. يقوم ArcGIS بحفظ النظام في ملف PRJ في المجلد:

C:\Users\Your Name\AppData\Roaming \ ESRI \ Desktop10.0 \ ArcMap\Coordinate Systems



الشـكل 4-45 إدخـال وسـطاء الإسـقاط فـي مربـع حـوار نظـام الإحـداثيات المسـقطة الجديد

AutoCAD® Map 3D

الخطوات التالية تبين كيفية إنشاء النظام المرجعي المطلوب بأسلوب المعالج (wizard) الذي يقود المستخدم أثناء إنشاء النظام (انظر 3.3.5.1.2 إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات الجغرافية).
يمكـن إنشـاء نظـام إحـداثيات مرجعـي في AutoCAD Map 3D باسـتخدام الأمـر Create Coordinate System:

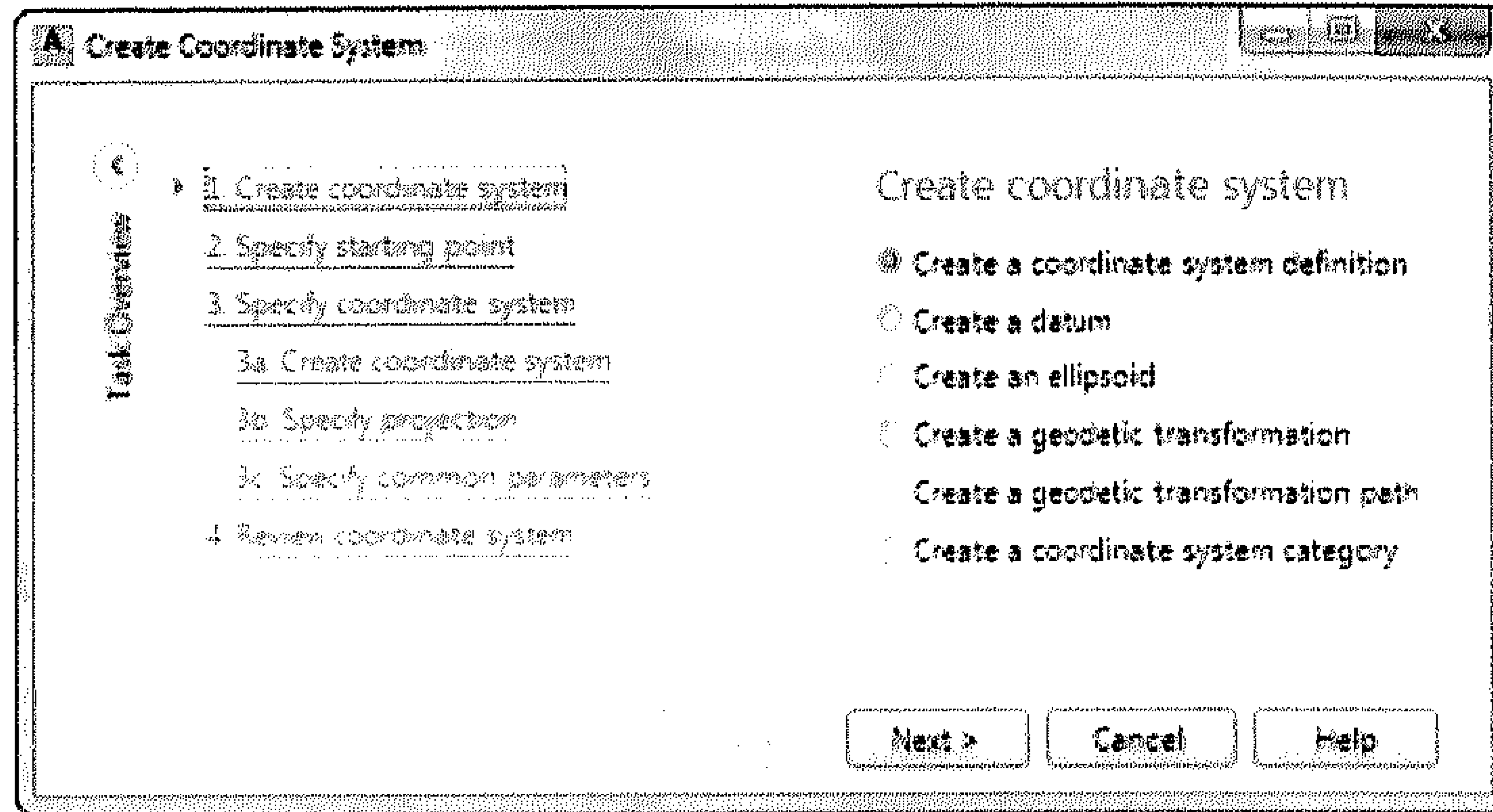
Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Create > Create Coordinate System
Command: MAPCSCREATE

ملاحظة: يتطلب إنشاء نظام مرجعي جديد في AutoCAD Map 3D صلاحية إدارية، ويمكن تسجيل الدخول بهذه الصلاحيات باستخدام الأمر MAPLOGIN أو بالنقر فوق أيقونة البرنامج

بزر الفأرة الأيمن واختيار Run as administrator، أو بمنح المستخدم **إذن** (permission) تعديل المجلد:

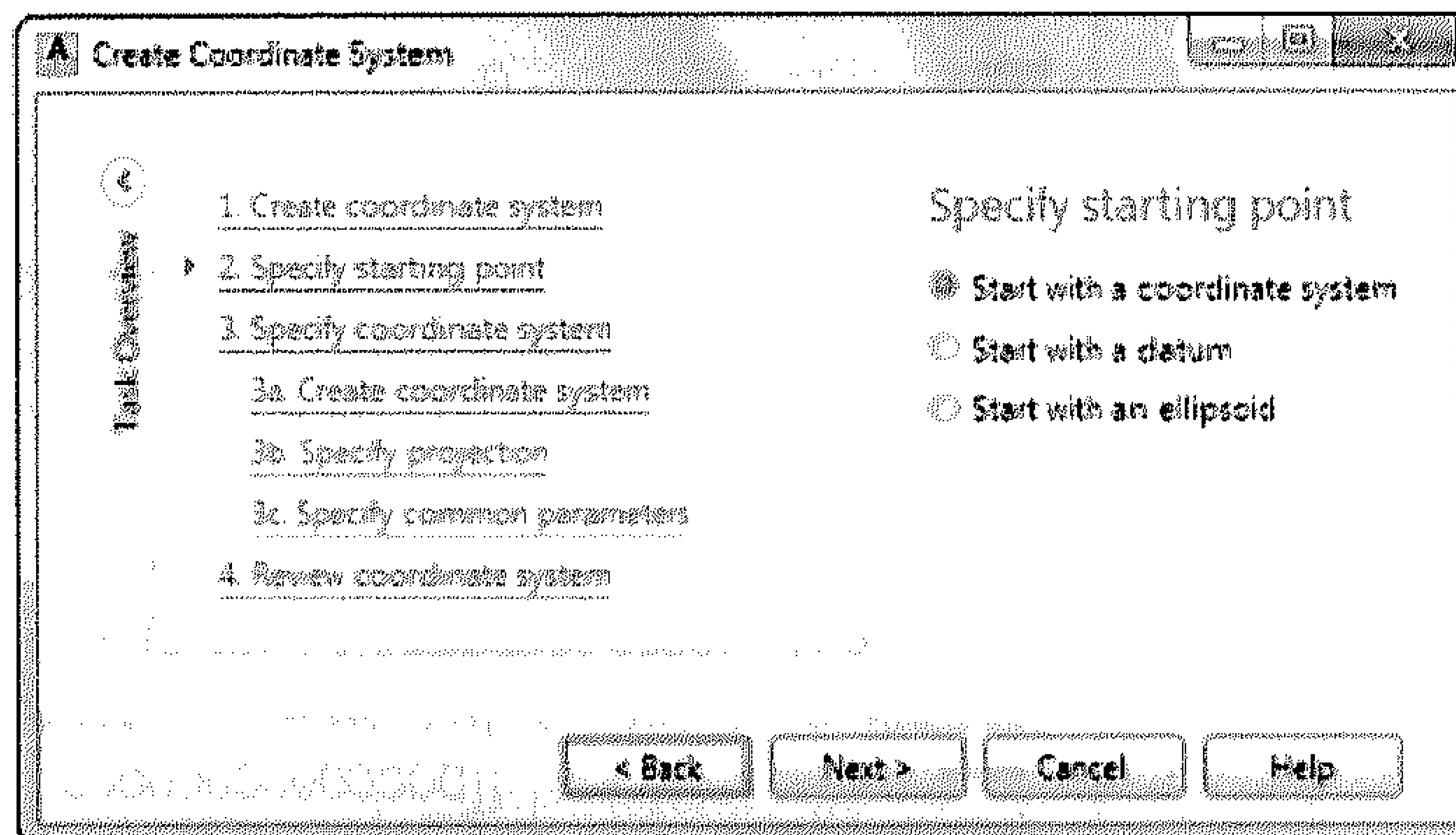
C:\ProgramData\Autodesk\Geospatial Coordinate Systems

في صندوق الحوار Create Coordinate System ننتقي الخيار Create a coordinate system definition، ثم ننقر فوق الزر Next.



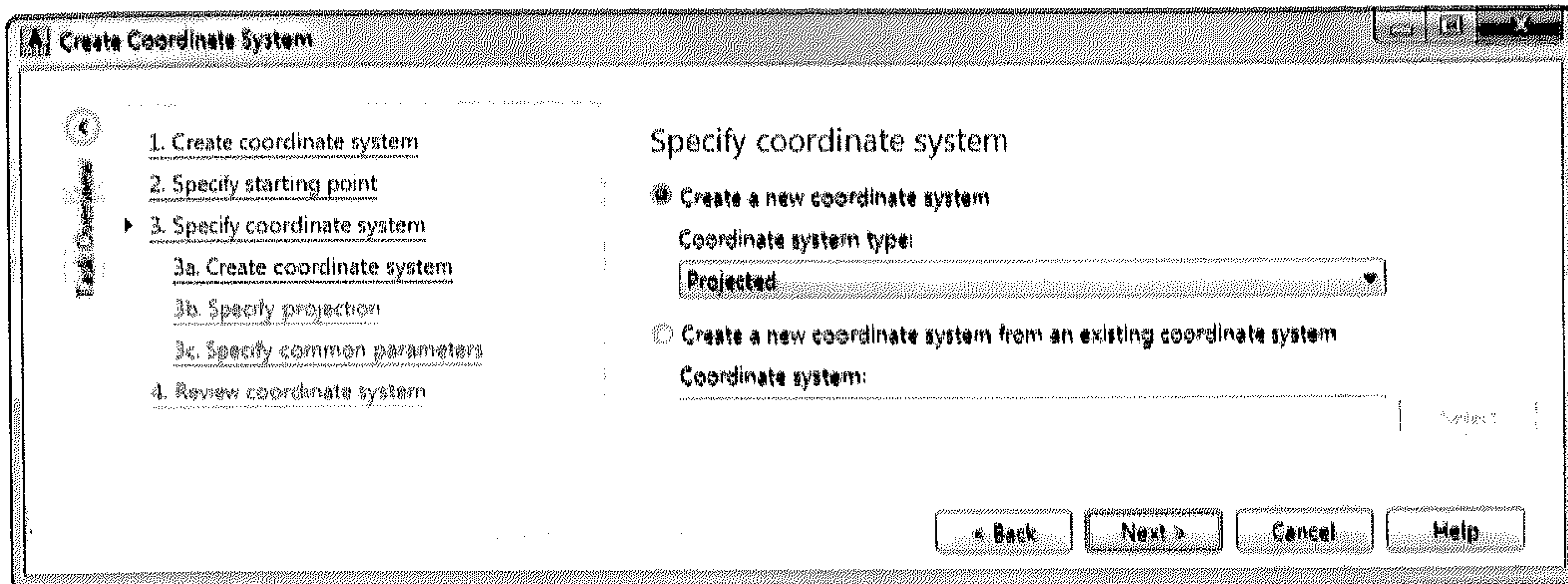
الشكل 4-46 صندوق حوار Create Coordinate System في AutoCAD Map 3D

بما أن النظام الجديد يستخدم مرجعاً جيوديسياً متوفراً في مكتبة البرنامج ننتقي الخيار Start with a coordinate system:



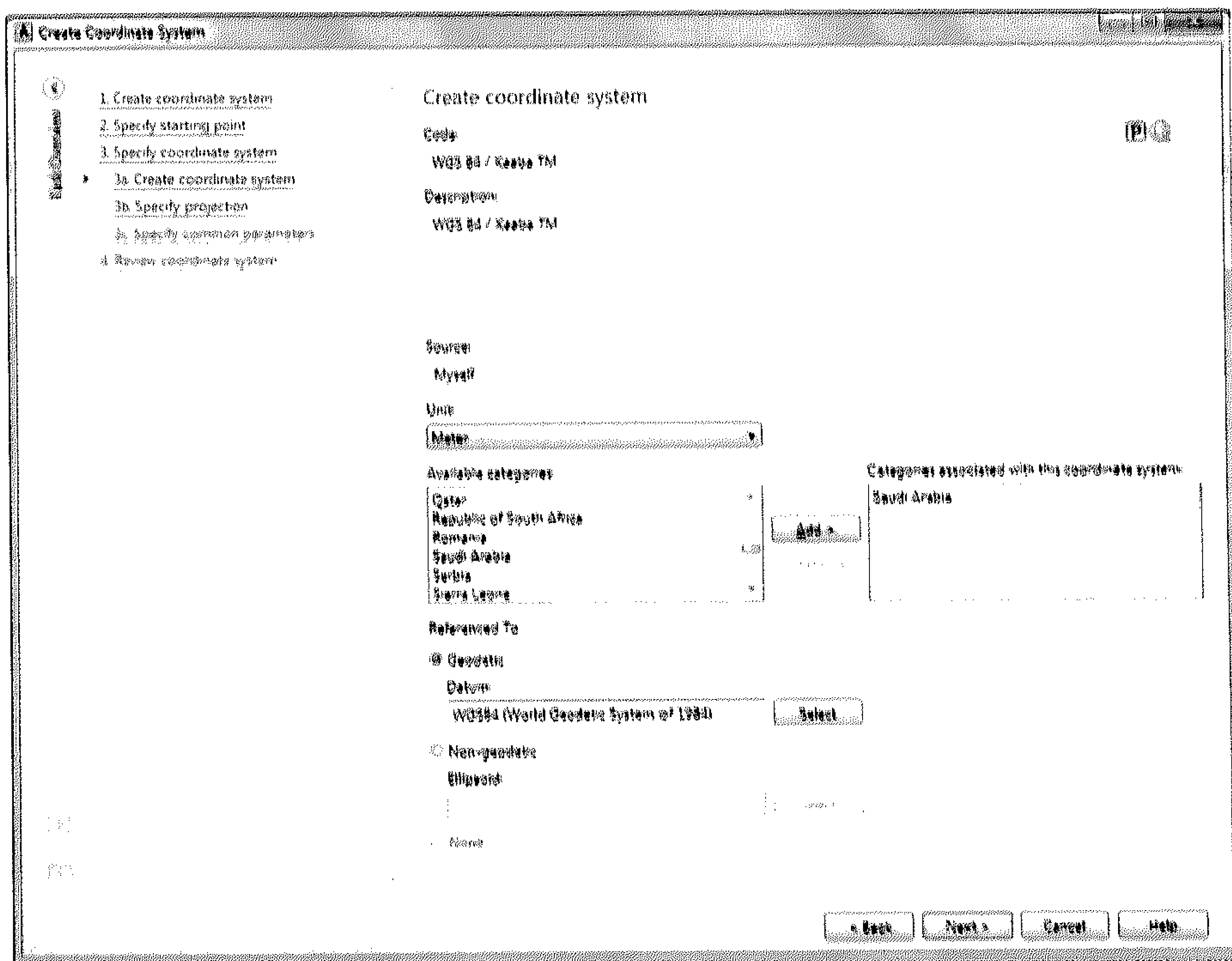
الشكل 4-47 انتقاء نقطة البداية في تعريف النظام المرجعي في AutoCAD Map 3D

الآن نحدد نوع النظام المرجعي الجديد وننتقي Projected من القائمة المنسدلة التي تظهر:



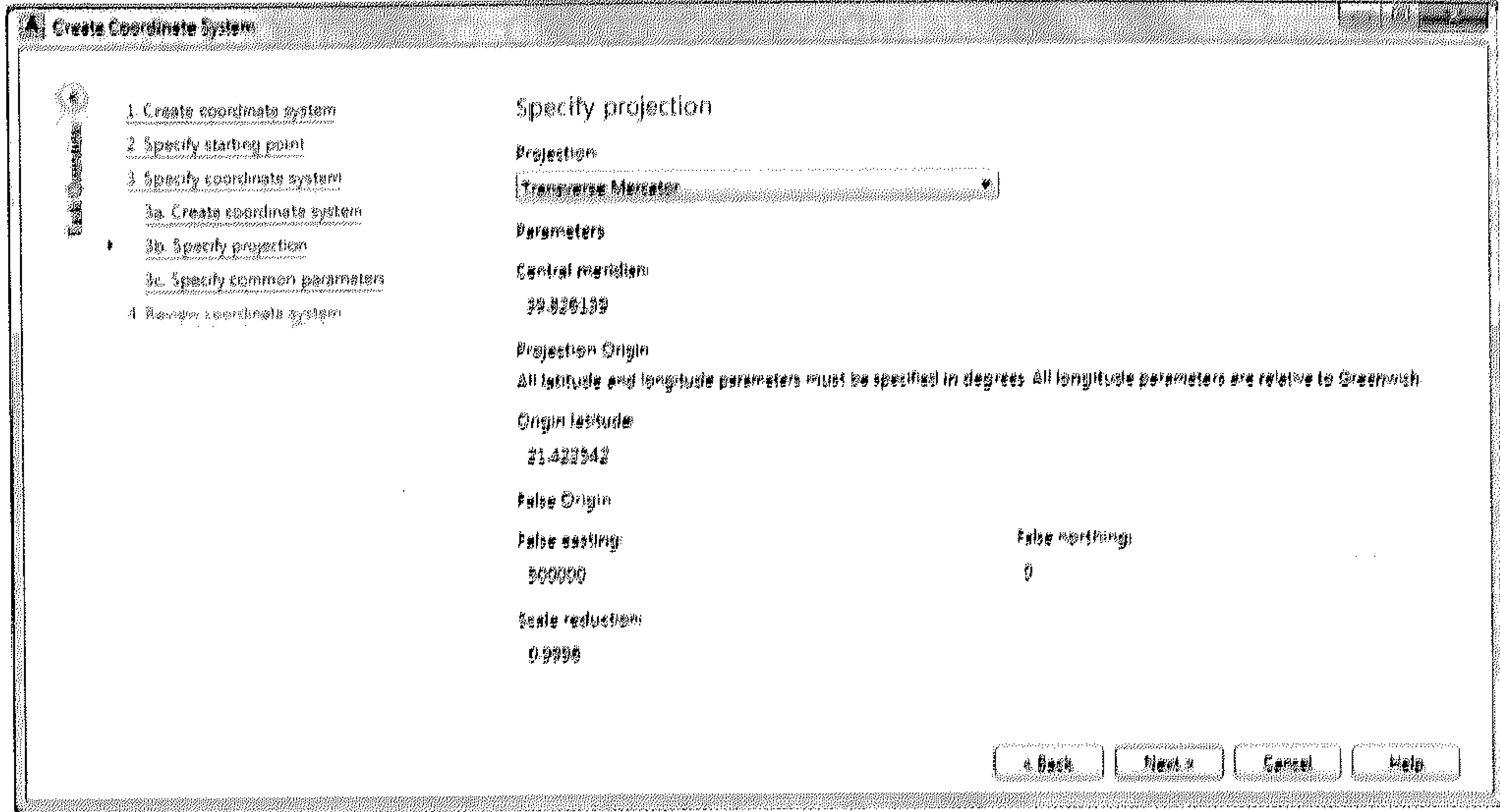
الشكل 4-48 تحديد نوع النظام المرجعي الجديد

في الخطوة التالية ندخل معلومات النظام الجديد مثل الاسم ووحدة القياس والفئة التي تتضمن هذا النظام الجديد واسم المرجعي الجيوديسي الذي يعتمد عليه النظام المرجعي الجديد:



الشكل 4-49 إدخال معلومات النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة

ثم ندخل وسطاء الإسقاط:



الشكل 4-50 إدخال وسطاء الإسقاط في صندوق الحوار Create Coordinate System

في الخطوة التالية Specify Common Parameters ندخل القيمة 1 في مربع الإدخال Map (paper) scale، وفي الخطوة التي تليها نوافق على معلومات ووسطاء النظام المرجعي الجديد، مع العلم أن تعريف WKT للنظام الذي قمنا بإنشائه يظهر في هذه الخطوة بعد اكتمال المعلومات التي أدخلها المستخدم كما يلي:

```
PROJCS["WGS 84 / Kaaba TM", GEOGCS["LL84", DATUM["WGS84", SPHEROID["WGS84",
6378137.000, 298.25722293], TOWGS84[0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.00000000]], PRIMEM["Greenwich", 0], UNIT["Degree",
0.017453292519943295]], PROJECTION["Transverse_Mercator"],
PARAMETER["false_easting", 500000.000], PARAMETER["false_northing", 0.000],
PARAMETER["scale_factor", 0.999600000000], PARAMETER["central_meridian",
39.82613900000000], PARAMETER["latitude_of_origin", 21.42254200000000],
UNIT["Meter", 1.00000000000000]]
```

ننقر فوق الزر Finish، وبذلك نكون قد انتهينا من إنشاء النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة WGS 84 / Kaaba TM الذي يمكن الوصول إليه في مكتبة البرنامج وتحت الفئة Saudi Arabia.



من الجدول MDSYS.SDO_COORD_OP_METHODS نجد معرّف إسقاط ميركاتور المستعرض 9807. نقوم بإضافة عملية على الإحداثيات إلى الجدول MDSYS.SDO_COORD_OPS:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OPS (COORD_OP_ID, COORD_OP_NAME,
COORD_OP_TYPE, SOURCE_SRID, TARGET_SRID, COORD_TFM_VERSION,
COORD_OP_VARIANT, COORD_OP_METHOD_ID, UOM_ID_SOURCE_OFFSETS,
UOM_ID_TARGET_OFFSETS, INFORMATION_SOURCE, DATA_SOURCE, SHOW_OPERATION,
IS_LEGACY, LEGACY_CODE, REVERSE_OP, IS_IMPLEMENTED_FORWARD,
IS_IMPLEMENTED_REVERSE) VALUES (999999999, 'WGS 84 / Kaaba TM', 'CONVERSION',
NULL, NULL, NULL, NULL, 9807, NULL, NULL, NULL, NULL, 1, 'FALSE', NULL, 1, 1, 1);
```

من الجدول MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_USE نجد معرفات وسطاء الإسقاط هي:

8801: Latitude_Of_Origin
8802: Central_Meridian
8805: Scale_Factor
8806: False_Easting
8807: False_Northing

مـن الجـدول MDSYS.SDO_UNITS_OF_MEASURE نجـد معرّفـات وحـدات القيـاس المطلوبـة لتعريف الإسقاط:

9001: metre
9102: degree
9201: unity

نقوم بإضافة زاوية عرض المبدأ الطبيعي:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999999, 9807, 8801, 21.422542, NULL,
9102);
```

وإضافة زاوية طول المبدأ الطبيعي:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999999, 9807, 8802, 39.826139, NULL,
9102);
```

وعامل الإسقاط:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999999, 9807, 8805, 0.9996, NULL,
9201);
```

والشرقيات الزائفة:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999999, 9807, 8806, 500000, NULL,
9001);
```

والشماليات الزائفة:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999999, 9807, 8807, 0, NULL, 9001);
```

من الجدول MDSYS.SDO_COORD_REF_SYS نعلم أن معرّف نظام الإحداثيات الجغرافية WGS 84 هو 4326 وأن معرف المرجع الجيوديسي WGS 84 هو 6326. معرّف نظام الإحداثيات الديكارتي الذي سنستخدمه مع نظام الإسقاط هو 4400.

الآن نقوم بإضافة نظام الإحداثيات المسقطة:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_REF_SYSTEM (SRID, COORD_REF_SYS_NAME,
COORD_REF_SYS_KIND, COORD_SYS_ID, DATUM_ID, SOURCE_GEOG_SRID,
PROJECTION_CONV_ID, CMPD_HORIZ_SRID, CMPD_VERT_SRID, INFORMATION_SOURCE,
DATA_SOURCE, IS_LEGACY, LEGACY_CODE, LEGACY_WKTEXT, LEGACY_CS_BOUNDS,
GEOG_CRS_DATUM_ID) VALUES (999999999, 'WGS 84 / Kaaba TM', 'PROJECTED', 4400,
NULL, 4326, 999999999, NULL, NULL, NULL, NULL, 'FALSE', NULL, NULL, NULL, 6326);
```

يمكن التأكد من نجاح إضافة النظام المرجعي هذا من خلال تعليمة SQL:

```
SQL> SELECT srid, wktext FROM CS_SRS WHERE srid = 999999999;
SRID
----------
WKTEXT
--------------------------------------------------------------------
999999999
PROJCS["WGS 84 / Kaaba TM", GEOGCS [ "WGS 84", DATUM ["World Geodetic System
1984 (EPSG ID 6326)", SPHEROID ["WGS 84 (EPSG ID 7030)", 6378137.0, 298.257223563]],
PRIMEM [ "Greenwich", 0.000000 ], UNIT ["Decimal Degree", 0.0174532925199433]],
PROJECTION ["Transverse Mercator"], PARAMETER ["Latitude_Of_Origin", 21.422542],
PARAMETER ["Central_Meridian", 39.826139], PARAMETER ["Scale_Factor", 0.9996],
PARAMETER ["False_Easting", 500000.0], PARAMETER ["False_Northing", 0.0], UNIT
["Meter", 1.0]]
```



يمكن في FME إنشاء نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية بتحرير الملف MyCoordSysDefs.fme في المجلد Reproject في مجلد FME، وإضافة وسطاء النظام المراد إنشاؤه. النص التالي يصف النظام المرجعي المطلوب:

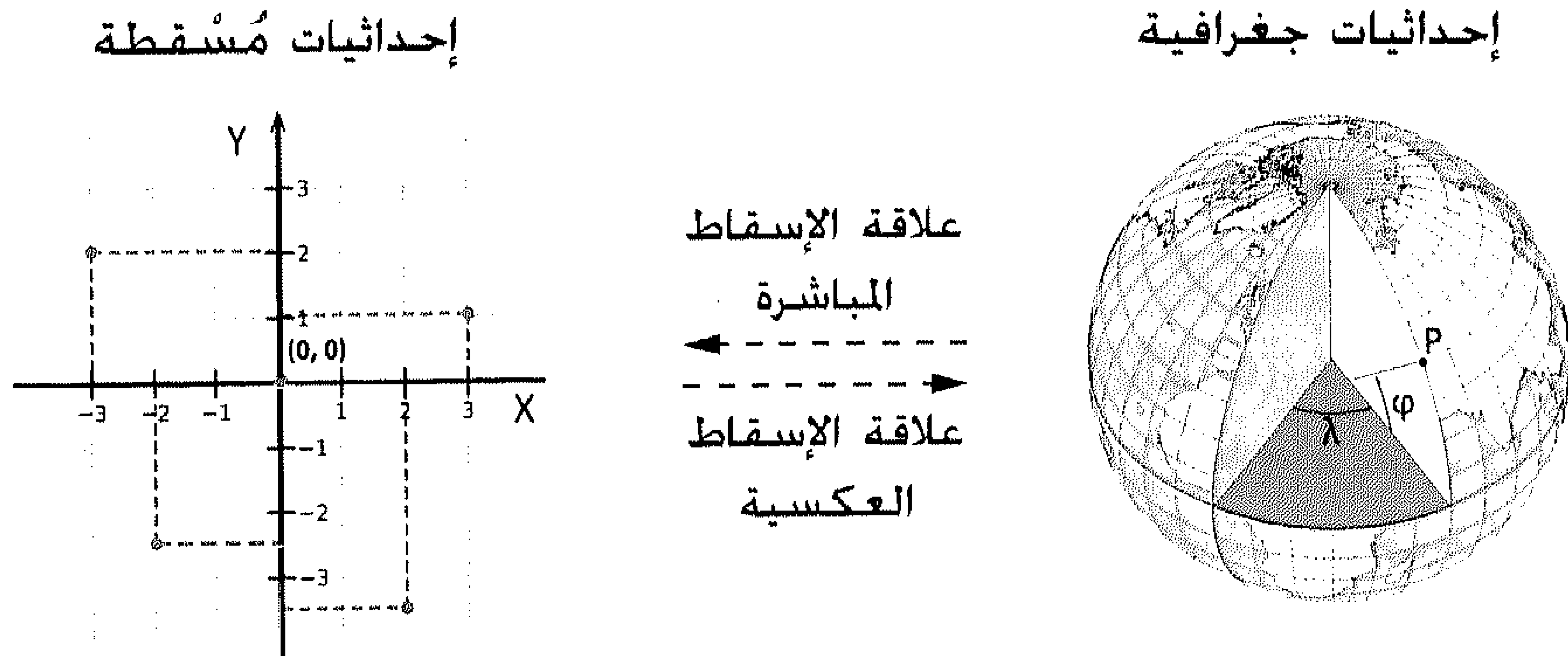
```
COORDINATE_SYSTEM_DEF WGS84-Kaaba-TM \
DESC_NM "WGS 84 / Kaaba TM" \
SOURCE "Myself" \
PROJ TM \
UNIT METER \
DT_NAME WGS84 \
PARM1 39.826139 \
GROUP "Custom Group" \
SCL_RED 0.9996 \
ORG_LAT 21.422542 \
X_OFF 500000.0 \
Y_OFF 0.0
```

4.11.3. إسقاط البيانات المكانية وتحويلها

كما ذكرنا في بحيث إعداد بيئة العمل يمكن إضافة البيانات المكانية من مصادر مختلفة وسيقوم ArcGIS وAutoCAD Map 3D بتحويلها تلقائياً إلى نظام إحداثيات ملف الخريطة بحيث تتراكب بصورة صحيحة، ولا تُدخل أية تعديلات على إحداثيات البيانات الأصلية، لأن ArcGIS

وAutoCAD Map يقومان بذلك لحظياً (on the fly) لأغراض العرض فقط.

لكن العمل مع البيانات المكانية يتطلب أحياناً تحويل البيانات المكانية بصورة نهائية، وليس بصورة مؤقتة، من نظام مرجعي ما إلى نظام مرجعي آخر للإحداثيات المسقطة، وغالباً ما يكون ذلك عند مشاركة البيانات المكانية بين جهات تعتمد أنظمة مرجعية مختلفة، أو عند انتقال الجهة أو الدولة نهائياً إلى نظام جديد.



الشكل 4-51 تغيير الإحداثيات بين الجغرافية والمسقطة

يتم تغيير الإحداثيات بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية والمسقطة باستخدام علاقات الإسقاط، حيث تقوم هذه العمليات بتغيير الإحداثيات الجغرافية إلى مسقطة (العلاقات المباشرة) أو الإحداثيات المسقطة إلى جغرافية (العلاقات العكسية)، ناقشناها في بحث أنواع الإسقاط (انظر 4.10 أنواع الإسقاط).

يمكن أيضاً تحويل الإحداثيات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات المسقطة يعتمدان نظامين مرجعيين مختلفين للإحداثيات الجغرافية (وبالتالي مرجعين جيوديسيين مختلفين) باستخدام عمليات تحويل مباشرة (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).

يجب أن نتذكر أن تحويل البيانات المكانية من نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية إلى نظام مرجعي للإحداثيات المسقطة يتصف بدقة نتائجه وبخلوه من الأخطاء، ذلك أن تطبيق معادلات الإسقاط على الإحداثيات الجغرافية لا يتطلب أي تحويل بين المراجع الجيوديسية. مثلاً يمكن تغيير الإحداثيات الجغرافية المنسوبة إلى WGS 84 إلى النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة WGS 84 / UTM zone 39N بدون أخطاء، لكن تغيير الإحداثيات الجغرافية المنسوبة إلى Nahrwan 1967 إلى النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة WGS 84 / UTM zone 39N غير ممكن قبل تحويل الإحداثيات الجغرافية من المرجع الجيوديسي Nahrwan 1967 إلى WGS 84 أولاً.

بهدف تنظيم المعلومات في هذا الكتاب سنقتصر في الأمثلة التالية على التحويل بين الإحداثيات الجغرافية والمسقطة على ذات المرجع الجيوديسي، بينما سنتناول عملية تحويل إحداثيات الجغرافية المكانية بين نظامين مرجعيين للإحداثيات الجغرافية في فصل العمليات على الإحداثيات (انظر 5.2 تحويل الإحداثيات).

كما في تحويل البيانات المكانية بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية، تختلف طريقة إسقاط البيانات المتجهة والبيانات المتسامتة قليلاً، حيث يجب تحديد بعض المعلومات الإضافية عند إسقاط البيانات المتسامتة:

- طريقة **أخذ العينات** (resampling) (انظر 5.3.2 أخذ العيّنات عند تحويل البيانات المتسامتة).
- تحديد أبعاد الخلية الناتجة من عملية التحويل (output cell size)، لأن أبعاد الخلية قبل التحويل مقيسة على النظام المرجعي القديم ويجب تحويلها إلى ما يقابل ذلك في وحدات قياس النظام المرجعي الجديد ويمكن أن يؤدي إدخال أبعاد غير صحيحة للخلية إلى أخطاء فادحة.

بهدف تنظيم المعلومات في هذا الكتاب سنفترض أيضاً كما مر معنا في بحث النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية أن البيانات المتسامتة في المثال التالي مسندة جغرافياً أو تأتي مع ملف العالم المرافق، بينما سنتناول بالتفصيل الإسناد الجغرافي للبيانات المتسامتة وبنية ملف العالم في الفصل الثالث (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).

مشروع:

لدينا البيانات المكانية المتجهة والمتسامتة Country_WGS84 في الإحداثيات الجغرافية WGS 84 مطلوب تحويلها بصورة نهائية إلى النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة WGS 84 / UTM zone 39N.

الحل:

ArcGIS

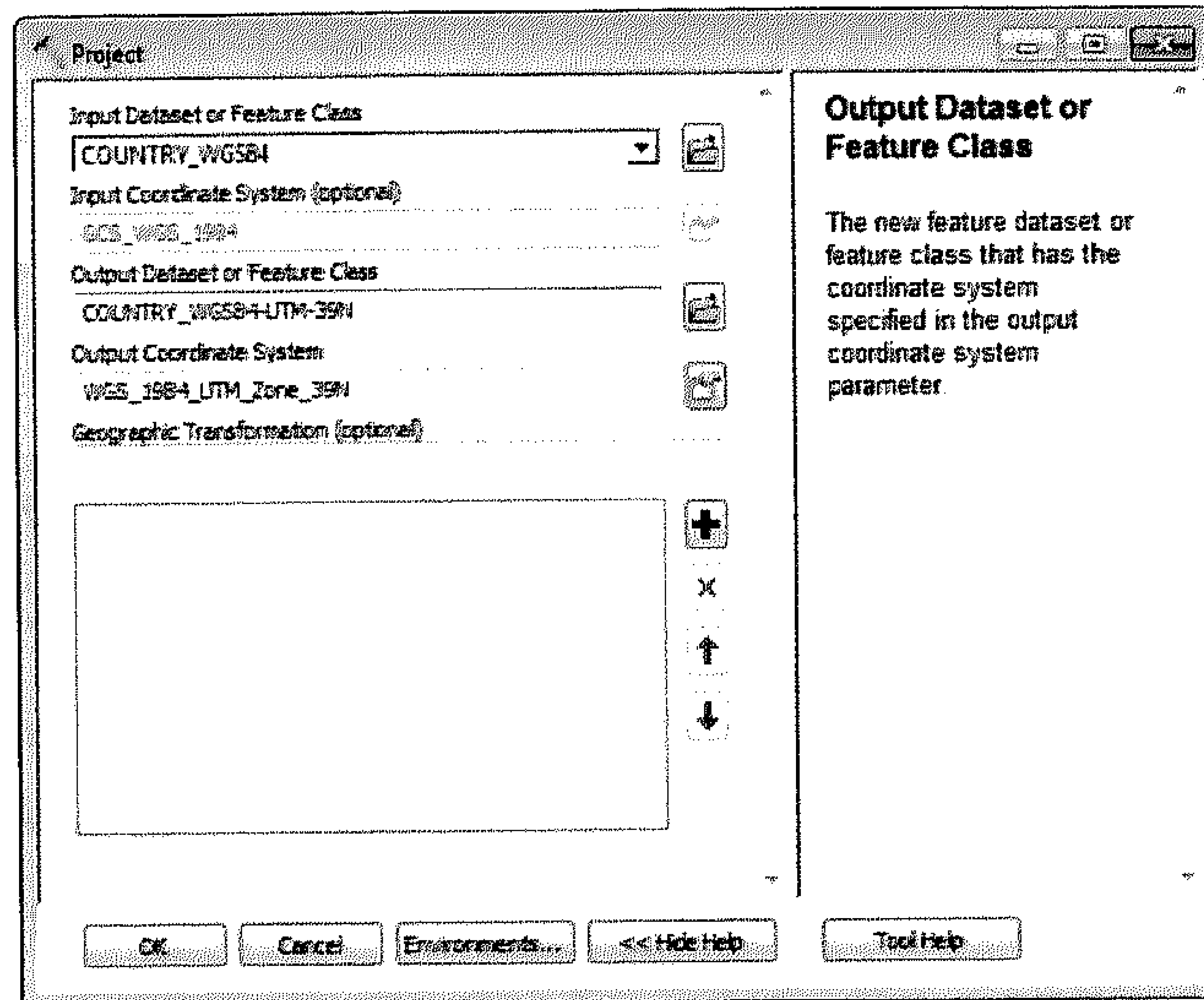
يمكن استخدام الأداة Project في ArcToolbox في برنامج ArcGIS لتحويل البيانات المتجهة بسهولة:

Data Management Tools > Projections and Transformations > Feature > Project

نحدد اسم البيانات التي نرغب بتحويلها من القائمة المنسدلة Input Dataset or Feature Class، ونحدد اسم البيانات الناتجة من التحويل، أي Country_WGS-UTM-39N مثلاً، ومسارها، ثم بالنقر فوق الزر Output Coordinate System نحدد النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة WGS 84 / UTM zone 39N بانتقاء الملف WGS 1984 UTM Zone 39N.prj من المجلد:

Projected > UTM > WGS 1984 > Northern Hemisphere

يكتشف ArcGIS أن التحويل المطلوب لا يتطلب تحويلاً بين المراجع الجيوديسية ولذلك تبقى القائمة المنسدلة Geographic Transformation خالية من الخيارات:

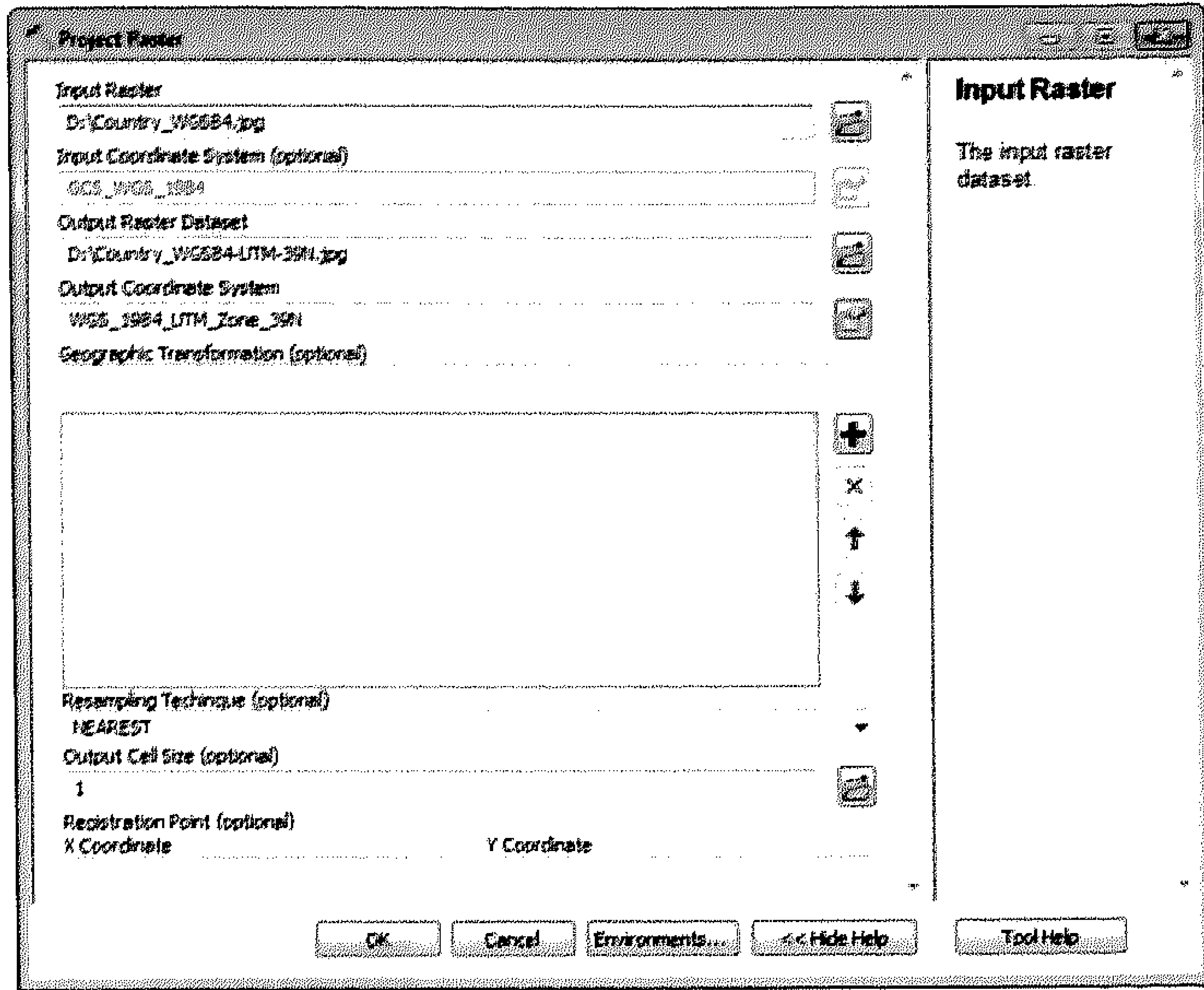


الشكل 4-52 الأداة Project في ArcToolbox في ArcGIS

بعد النقر على زر موافق يقوم ArcGIS بتحويل البيانات إلى النظام المطلوب وفي المسار الذي قمنا بتحديده.

يمكن إسقاط البيانات المتسامتة في ArcGIS بالأداة Project Raster في ArcToolbox بطريقة مشابهة للخطوات المستخدمة في إسقاط البيانات المتجهة:

Data Management Tools > Projections and Transformations > Raster > Project Raster



الشكل 4-53 إسقاط البيانات المتسامتة في ArcGIS

بالإضافة إلى الخطوات السابقة يجب إدخال معلومتين في الأداة Project Raster:

- طريقة أخذ العينات: وهي طريقة الجار الأقرب في المثال أعلاه.
- تحديد أبعاد الخلية الناتجة من عملية التحويل (output cell size). عادة، يقوم ArcGIS بتعيين أبعاد الخلية الناتجة بناءً على النظامين المرجعيين اللذين يتم التحويل بينهما، ولكن ينصح بمراجعة هذه القيمة قبل المتابعة بعملية التحويل.

يعد إسقاط البيانات المتسامتة يقوم ArcGIS بكتابة ملف العالم والملف المساعد للبيانات الجديدة بحيث تظهر في موقعها الصحيح عند فتحها.

إذا كانت هيئة البيانات الناتجة هي JPEG أو JPEG 2000 أو **قاعدة بيانات جيومكانية** (geodatabase) يمكن النقر فوق الزر Environment في صندوق حوار Project Raster للتحكم بخيارات ضغط الصورة في المجموعة Raster Storage في القائمة المنسدلة Compression.

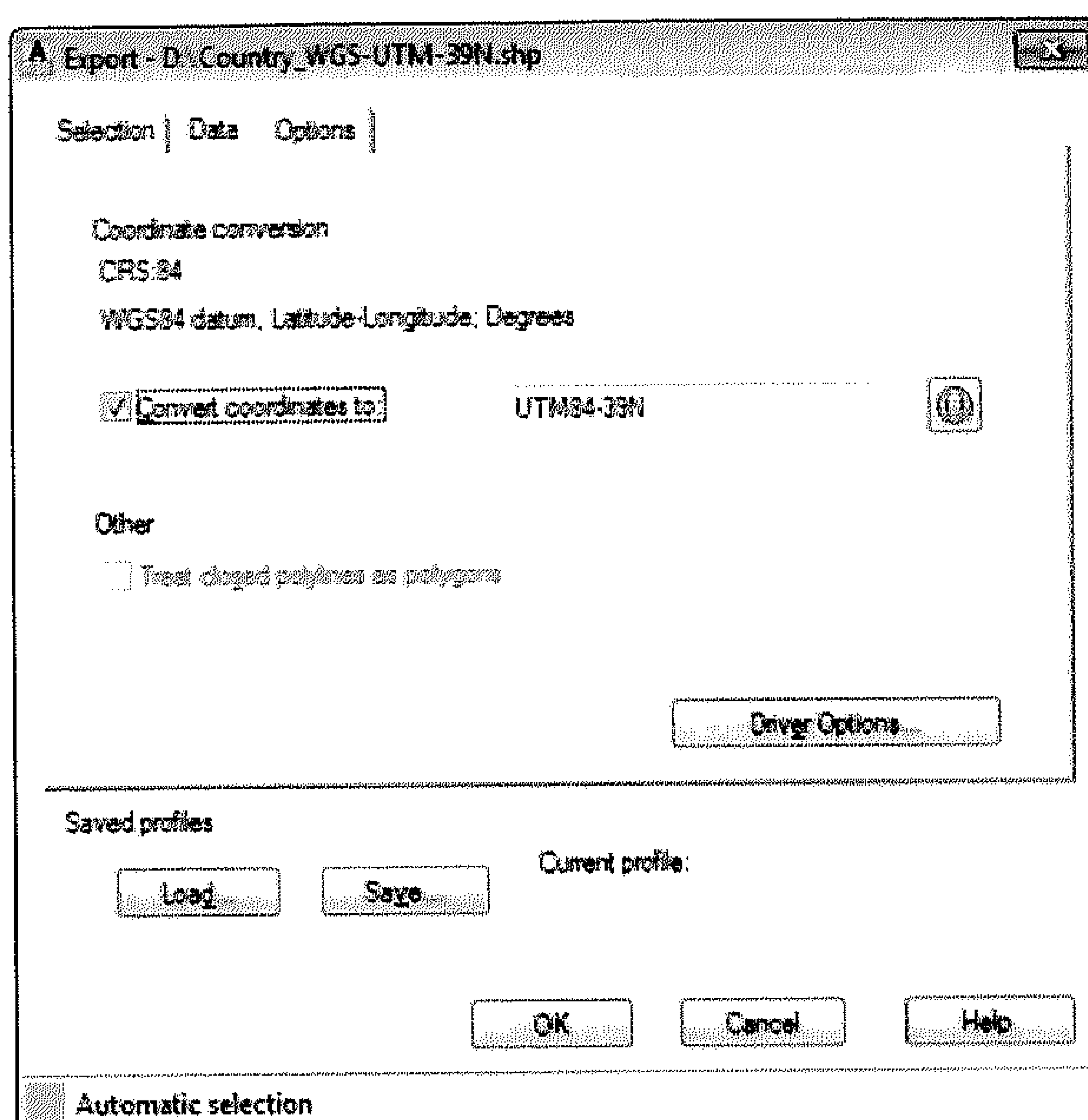
AutoCAD® Map 3D

عند تصدير البيانات المكانية في AutoCAD Map 3D إلى أي هيئة يمكن التحكم بالنظام

المرجعي لإحداثيات البيانات الناتجة من التحويل باستخدام الأمر Map 3D Export.

Ribbon: Output > Map Data Transfer > Map 3D Export
Command: MAPEXPORT

في صندوق حوار تصدير البيانات، وفي **لسان التبويب** (tab) المسمى Options يمكن ضبط النظام المرجعي لإحداثيات البيانات الناتجة بتمكين الخيار Convert coordinates to وانتقاء النظام المرجعي المطلوب بالنقر فوق زر مكتبة الأنظمة المرجعية أو كتابة رمز النظام في مربع الإدخال.



الشكل 4-54 التحكم بالنظام المرجعي لإحداثيات البيانات أثناء تصديرها في AutoCAD Map 3D

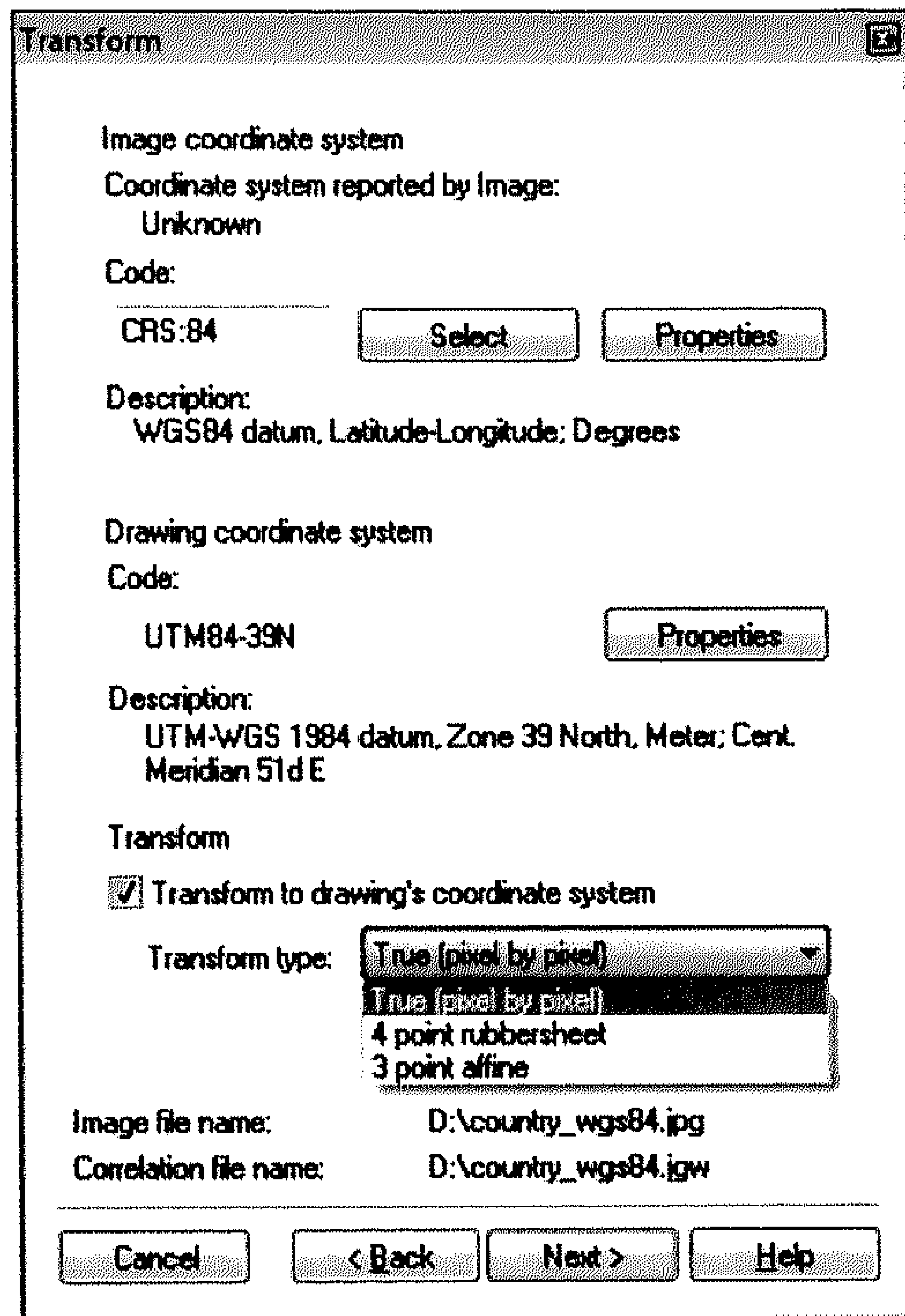
يتم تحويل البيانات المتسامتة في AutoCAD Map 3D بإعداد ملف الخريطة الحالي بحيث يكون WGS 84 / UTM zone 39N هو النظام المرجعي فيه، وباستخدام الملحق Raster Design يتم إدراج الصورة ومن ثم تصديرها (وملف العالم المرافق) إلى ملف جديد، أو تصدير ملف العالم فقط.

يمكن إدراج الصورة في الملحق Raster Design باستخدام الأمر Insert:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > Insert
Command: IINSERT

بعد ذلك نقوم بانتقاء الملف، وفي صندوق الحوار Pick Correlation Source نحدد أسلوب الارتباط وهو الارتباط باستخدام ملف العالم (world file correlation) أو **الارتباط باستخدام ملف الصورة** (image file correlation)، كما يمكن تعديل معلومات الارتباط في صندوق الحوار التالي Modify Correlation Values.

أولاً يجب إسقاط الصورة إلى النظام المرجعي لملف الخريطة ويمكن ذلك في صندوق الحوار Transform بتمكين الخيار Transform to drawing's coordinate system:



الشكل 4-55 إسقاط البيانات المتسامتة في الملحق **Raster Design** في **AutoCAD Map 3D**

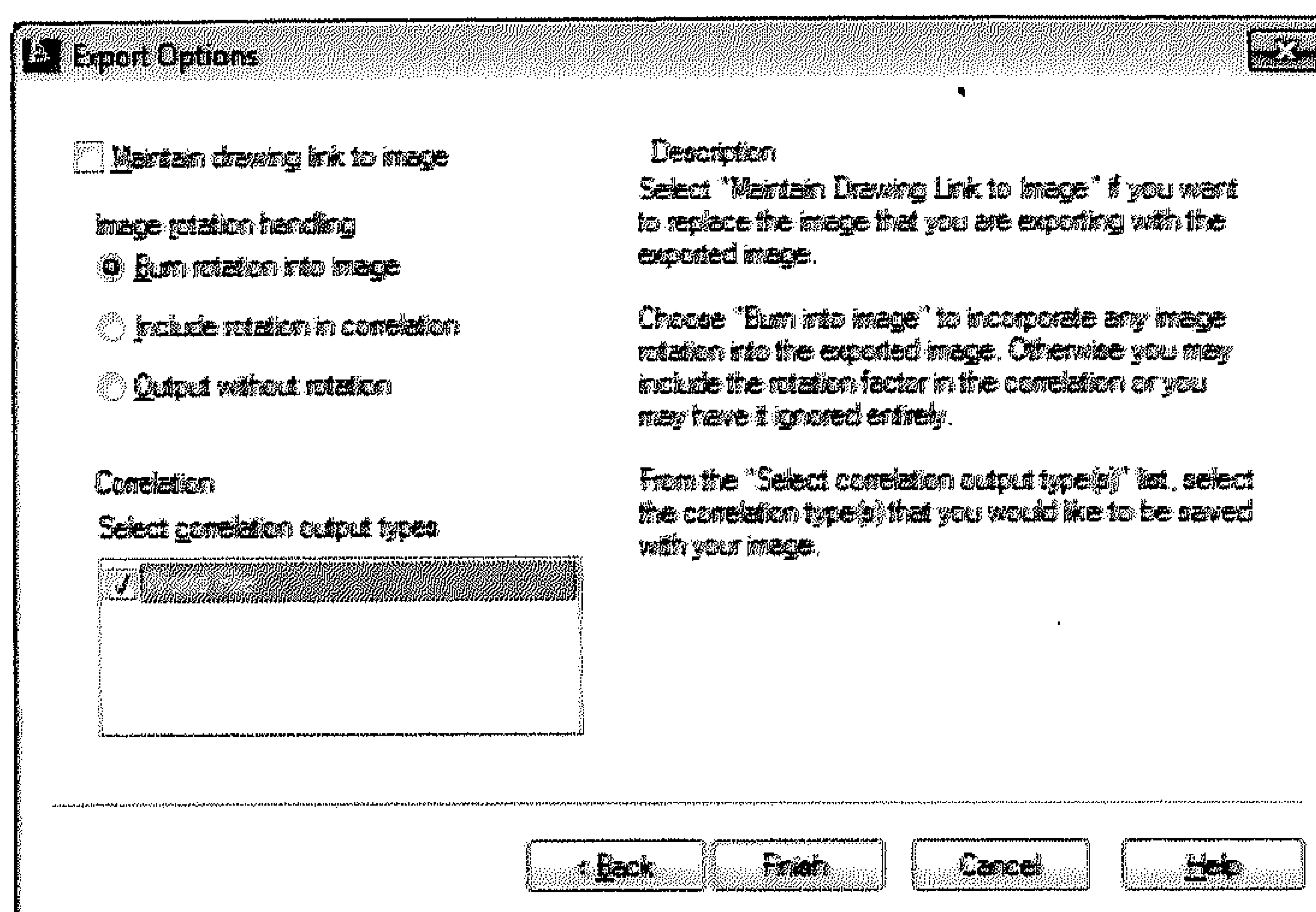
يمكن انتقاء طريقة التحويل بين الخيارات الثلاثة True أو 4 point rubbersheet أو 3 point affine (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات لمعلومات التحويل المتصل والتصفيح المطاطي).

بعد إدراج الصورة في AutoCAD Map 3D يمكن حفظ الصورة في النظام المرجعي / WGS 84 UTM zone 39N بطريقتين؛ الأولى تصدير الملف والثانية تصدير ملف العالم فقط.

يمكن تصدير الملف إلى ملف جديد في الطريقة الأولى من خلال الأمر World File:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > Image Export
Command: IEXPORT

ويمكن في هذه الحالة تصدير الصورة إلى هيئة ملفات GeoTIFF مثلاً التي تدعمها معظم برمجيات نظام المعلومات الجغرافية بحيث تُحفظ معلومات النظام المرجعي ومعلومات الارتباط ضمن الصورة، أو انتقاء أي هيئة ملفات أخرى مع حفظ معلومات الارتباط في ملف العالم المرافق. إذا كانت الصورة تصنع زاوية مع محاور الإحداثيات يمكن للمستخدم التحكم بما إذا كان يرغب بتعريف زاوية الدوران في ملف العالم أو إنشاء صورة جديدة لا تصنع زاوية مع محاور الإحداثيات تتسع للصورة القديمة ويتم ملء الفراغ بخلايا فارغة:



الشكل 4-56 خيارات تصدير الصورة في الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D

في الطريقة الثانية يتم تصدير ملف العالم فقط بحيث يسمح بتسجيل الصورة جغرافياً طبقاً للنظام المرجعي WGS 84 / UTM zone 39N، ويكون ذلك من خلال الأمر World File:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > World File
Command: IWORLDOUT



يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي TRANSFORM_LAYER في حزمة SDO_CS لتحويل البيانات بين نظامين مرجعين للإحداثيات، مع تحديث ما وراء البيانات

(metadata) بإدراج النظام المرجعي الجديد والحدود المكانية الجديدة للبيانات.

بفرض أن الجدول COUNTRY_WGS84 يتضمن البيانات المكانية في الحقل SHAPE يمكن تحويل البيانات في Spatial Oracle إلى النظام المطلوب وحفظها في الجدول COUNTRY_WGS84UTM93N بتنفيذ التعليمة التالية:

```
CALL SDO_CS.TRANSFORM_LAYER(
   'COUNTRY_WGS84',
   'SHAPE',
   'COUNTRY_WGS84-UTM-39N',
   32639);
INSERT INTO user_sdo_geom_metadata VALUES ('COUNTRY_WGS84-UTM-93N','SHAPE',
 MDSYS.SDO_DIM_ARRAY(
   MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('X', 500000,800000,0.05),
   MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('Y',2500000,2700000,0.05)
 ),
 32639
);
COMMIT;
```

حيث 32639 معرّف النظام المرجعي WGS 84 / UTM zone 39N في Oracle Spatial ويمكن إيجاده في الجدول MDSYS.SDO_COORD_REF_SYS.

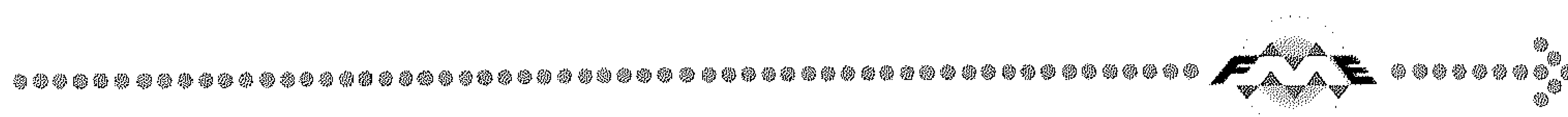
يمكن في Spatial Oracle استخدام البرنامج الفرعي REPROJECT في حزمة SDO_GROR لتحويل البيانات المتسامتة بين نظامين مرجعين للإحداثيات.

بفرض أن الجدول COUNTRY_WGS84 يتضمن البيانات المتسامتة في الحقل GEORASTER وأن معرّف البيانات المتسامتة المطلوب تحويلها في الجدول المذكور هو 10 يمكن تحويل هذه البيانات في Spatial Oracle إلى النظام المطلوب وحفظها في الجدول COUNTRY_WGS84UTM93N بتنفيذ التعليمات التالية:

```
DECLARE
  g1 SDO_GEORASTER;
  g2 SDO_GEORASTER;
BEGIN
  SELECT georaster INTO g1 from COUNTRY_WGS84 WHERE id=10;
  INSERT INTO COUNTRY_WGS84UTM93N (id, georaster) VALUES (21,
                    MDSYS.SDO_GEOR.init ('RDT_1', 21))
  RETURNING georaster INTO g2;
```

```
 SDO_GEOR.REPROJECT (g1, 'resampling=CUBIC', 'blocking=TRUE blocksize=(1024, 1024,
1) interleaving=BSQ', 32639, g2);
  UPDATE COUNTRY_WGS84UTM93N SET georaster=g2 WHERE georid=21;
  COMMIT;
END;
/
```

بالنسبة لطريقة أخذ العيّنات (resampling) في المثال أعلاه فهي طريقة الطي التكعيبي.



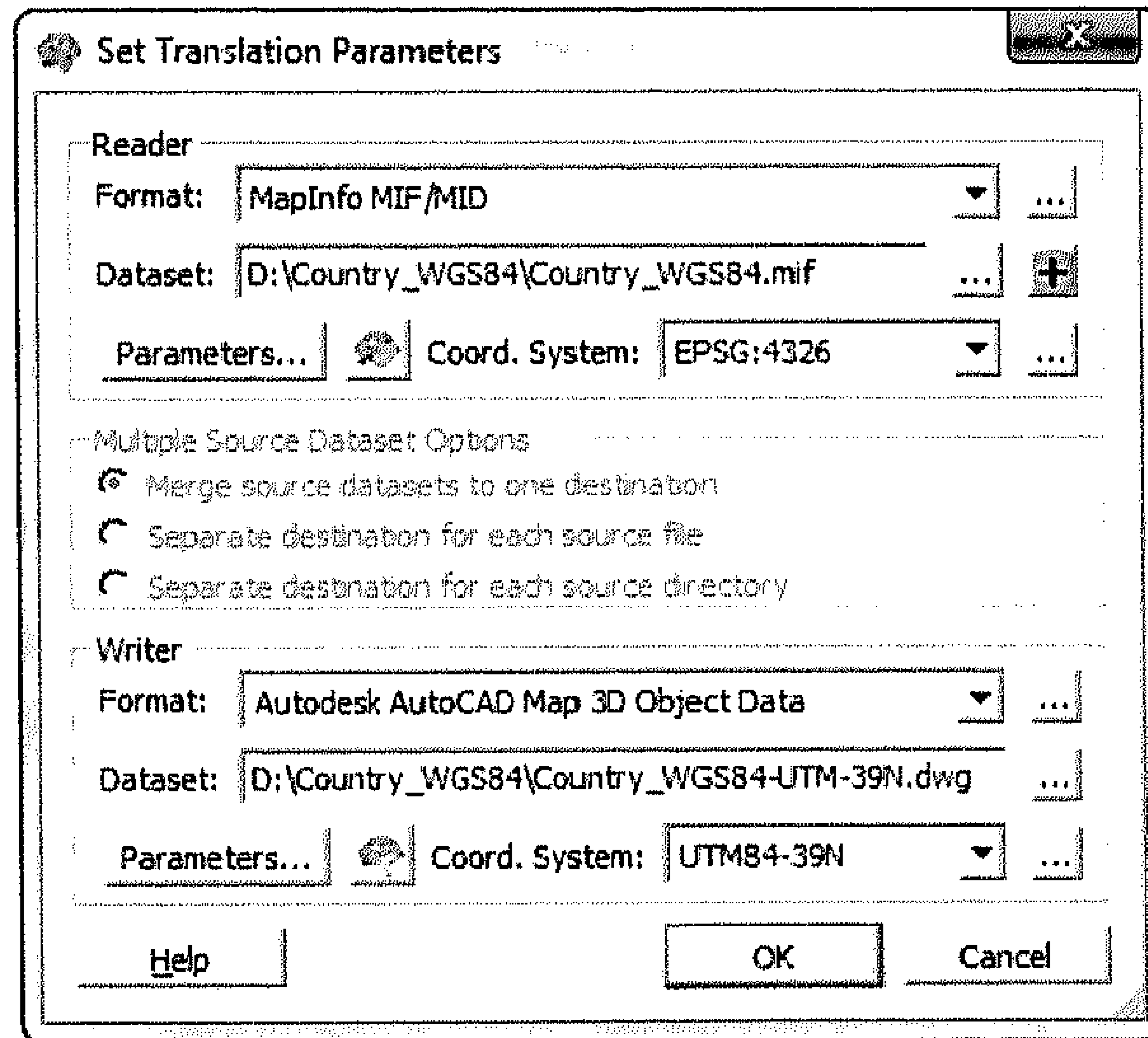
يتوفر في برنامج FME Workbench مجموعة واسعة من المحوّلات (transformers) التي تقوم بتحويل الإحداثيات بين الأنظمة المرجعية، بما في ذلك التحويل بين الإحداثيات الجغرافية والمسقطة على ذات المرجع الجيوديسي. يبين الجدول التالي بعض هذه المحولات:

المحوّل	الشرح
ESRIReprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة التحويلات المعرّفة في برمجيات ESRI.
Reprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة التحويلات المعرفة في FME.
CsmapReprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة CS-MAP مفتوحة المصدر (open source). (انظر 2.4.1.2 المشروع الفرعي CS-Map).
http://trac.osgeo.org/csmap	

الجدول 4-6 محولات تحويل الإحداثيات في FME

عند تحويل البيانات في FME Quick Translator أو البرنامج FME Workbench باستخدام المحـوّلات Reprojector وCsmapReprojector تُستخدم طريقة التحويل المعرّفة في مكتبة البرنامج بطريقة مشابهة لعمل برنامج Autodesk Map 3D وOracle Spatial.

المثال التالي يقوم بتحويل بيانات في هيئة MapInfo MIF/MID بنظام الإحداثيات WGS 84 إلى هيئة AutoCAD Map 3D بنظام الإحداثيات المرجعي WGS 84 / UTM zone 39N باستخدام FME Quick Translator:

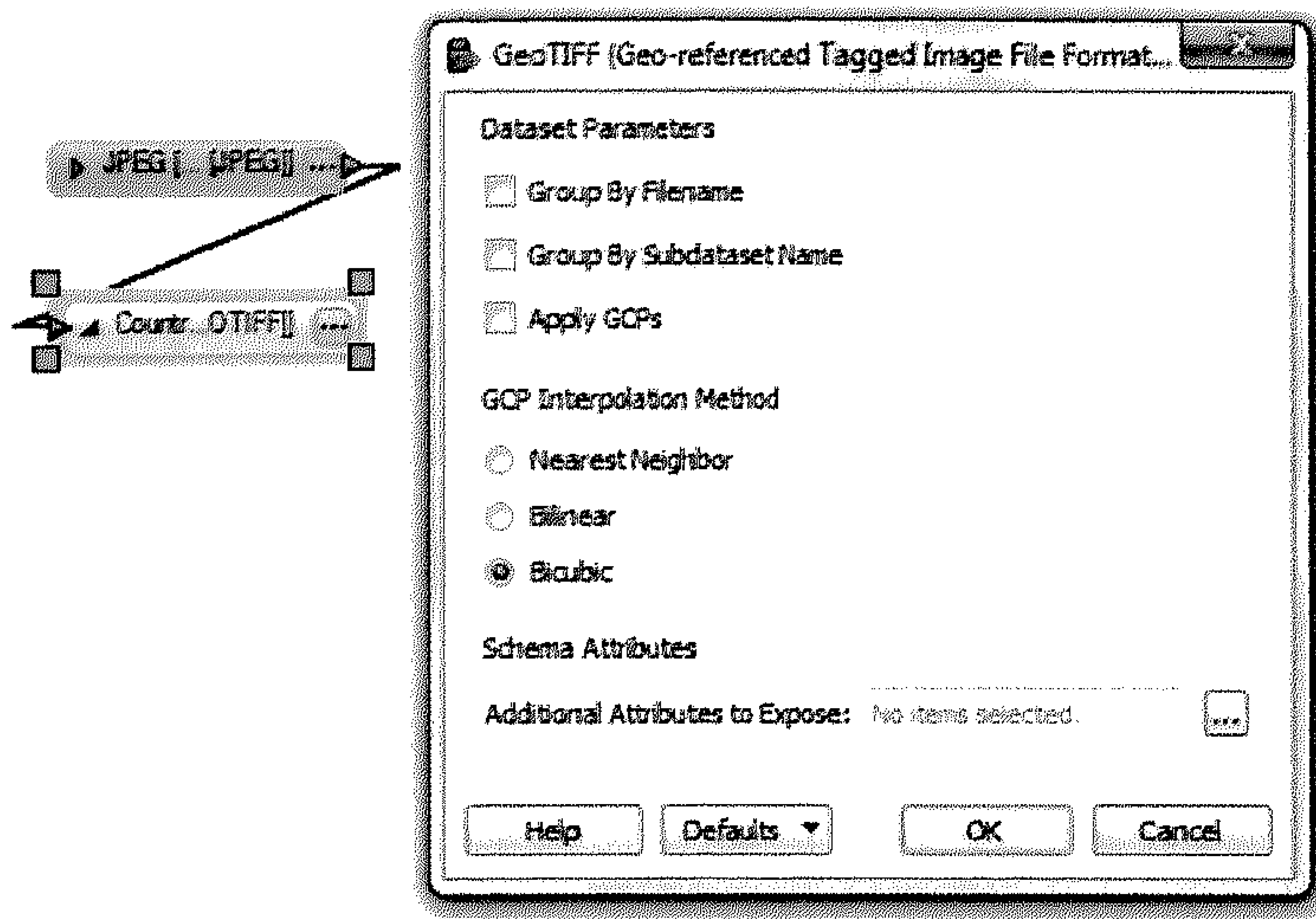


الشكل 4-57 إسقاط البيانات المتجهة في FME Quick Translator

عند تحويل البيانات في FME Workbench باستخدام المحوِّل ESRIReprojector يمكن للمستخدم التحكم بطريقة ووسطاء التحويل حسب المكتبة المعرّفة في ArcGIS بطريقة مشابهة للخطوات في برنامج ArcGIS.

بالنسبة للبيانات المتسامتة يمكن باستخدام ذات البرنامج تحويل هذا النوع من البيانات بالطريقة ذاتها، ولكن ذلك لا يسمح بالتحكم بخيارات التحويل مثل تحديد طريقة أخذ العينات، ولذلك يفضل استخدام البرنامج FME Workbench.

المثال التالي يبين كيفية تحويل البيانات Country_WGS84.jpg إلى صورة في هيئة GeoTIFF بنظام الإحداثيات المرجعي WGS 84 / UTM zone 39N مع تحديد الطي التكعيبي طريقةً لأخذ العينات أثناء تحويل الصورة:



الشكل 4-58 خيارات إسقاط البيانات المتسامتة في FME Workbench

الفصل 5

العمليات على الإحداثيات

يتطلب العمل في مجال التقنيات المكانية تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة، ويكون ذلك في حالات مثل انتقال الدولة إلى نظام إحداثيات مرجعي جديد، وتحويل القياسات بنظام تحديد المواقع العالمي الذي يعتمد المجسّم الإهليلجي WGS 84 إلى النظام المرجعي المحلي، واستخدام بيانات مكانية منسوبة إلى أنظمة مرجعية مختلفة من جهات مختلفة.

نناقش في هذا الفصل:

- ✓ الفرق بين تغيير الإحداثيات وتحويلها
- ✓ تغيير الإحداثيات: بين الجغرافية وأرضية المركز، وبين الجغرافية والمُسْقطة
- ✓ تحويل الإحداثيات: في الأنظمة المرجعية للإحداثيات أرضية المركز والجغرافية والرأسية
- ✓ عمليات أخرى على الإحداثيات: تحويل التشابه والتحويل المتصل والتحويل كثير الحدود

5. العمليات على الإحداثيات

ثمة ثلاثة أنواع رئيسية من العمليات على الإحداثيات:

- **تغيير الإحداثيات** (coordinate conversion): مجموعة العمليات التي تُنفّذ في المرجع الجيوديسي الواحد، مثل تغيير الإحداثيات الجغرافية (φ, λ, h) إلى إحداثيات أرضية المركز (X, Y, Z) في المرجع الجيوديسي WGS 84، وتتصف هذه العمليات بدقة نتائجها وبخلوها من الأخطاء، وبأنها لا تتطلب وسطاء للتحويل بين المراجع الجيوديسية المختلفة. تُعدّ طرق الإسقاط التي ناقشناها في بحث الإسقاط والتي تقوم بتغيير الإحداثيات الجغرافية إلى إحداثيات مسقطة من أكثر عمليات تغيير الإحداثيات شيوعاً.
- **تحويل الإحداثيات** (coordinate transformation): مجموعة العمليات التي تُنفّذ بين مرجعين جيوديسيين مختلفين، مثل تحويل الإحداثيات الجغرافية في المرجع الجيوديسي Ain el Abd 1970 إلى الإحداثيات الجغرافية في المرجع الجيوديسي WGS 84. تستخدم عمليات تحويل الإحداثيات عند الانتقال من المرجع الجيوديسي المحلي إلى مرجع جيوديسي أحدث، أو عند استخدام تقنية GPS لقياس الإحداثيات في منطقة تعتمد مرجعاً جيوديسياً محلياً. تتصف عمليات تحويل الإحداثيات بعدم دقة نتائجها نظراً لما تعانيه الشبكات الجيوديسية الوطنية القديمة من خطأ نسبي مرتفع أحياناً. وبالإضافة إلى تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية يتضمن هذا النوع أيضاً تحويل الارتفاعات بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الرأسية، مثل تحويل الارتفاعات الجيوديسية إلى ارتفاعات أورثومترية.
- **عمليات أخرى على الإحداثيات**: ثمة مجموعة أخرى من العمليات على الإحداثيات يمكن تصنيفها بين النوعين الرئيسين السابقين، حيث يمكن استخدام هذه العمليات لتغيير الإحداثيات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات المسقطة يعتمدان نظامين مرجعيين مختلفين للإحداثيات الجغرافية (وبالتالي مرجعين جيوديسيين مختلفين)، أو للتحويل بين الإحداثيات الجغرافية لنظامين مرجعيين مختلفين للإحداثيات الجغرافية، كما تستخدم هذه العمليات لتخفيف التشوهات التي تعاني منها بعض البيانات المكانية مثل تصحيح الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية والخرائط الممسوحة (scanned)، وتصحيح الإحداثيات المقيسة على مرقّم (digitizer) من خريطة ورقية قديمة، بالإضافة إلى محاذاة البيانات المكانية المرسومة في برامج التصميم بالحاسوب (CAD) التي تعتمد نظاماً مرجعياً للإحداثيات الهندسية مع بيانات أخرى تعتمد نظاماً مرجعياً للإحداثيات المسقطة.

- يضاف إلى العمليات السابقة ما يسمى **العملية المسَلْسَلة** (concatenated operation)، وهي أي عملية مركبة من اثنتين أو أكثر من أي من العمليات المفردة. تهدف سَلسلة العمليات في عملية واحدة إلى إنشاء عملية جديدة هي مجموعة من عمليات التحويل المتعاقبة، وتستخدم عندما لا تتوفر عملية واحدة فقط للتحويل مباشرة بين نظامين مرجعيين، أو لأتمتة عمليات التحويل.

المرجع المعتمد في العمليات على الإحداثيات هو قاعدة بيانات EPSG التي تقوم بسرد المعادلات والوسطاء، وتُعدّ قاعدة بيانات EPSG هي المواصفات القياسية ذات الصلة. تبين قاعدة بيانات EPSG ما إذا كانت العملية عكوسة أم لا، وعندما تكون العملية عكوسة فهذا يعني أنها تدعم التحويل المباشر من النظام المرجعي المصدر إلى النظام المرجعي الهدف والتحويل العكسي من النظام المرجعي الهدف إلى النظام المرجعي المصدر، حيث يمكن عكس إشارة الوسطاء لتنفيذ التحويل العكسي.



تتوفر بعض الخدمات الفورية على ويب لتغيير وتحويل الإحداثيات، وتدعم إدخال الإحداثيات يدوياً أو تحميل بيانات مكانية مخزّنة في هيئة XML بما في ذلك GML. ومن الأمثلة على هذه الخدمات:

http://www.opencts.org

5.1. تغيير الإحداثيات

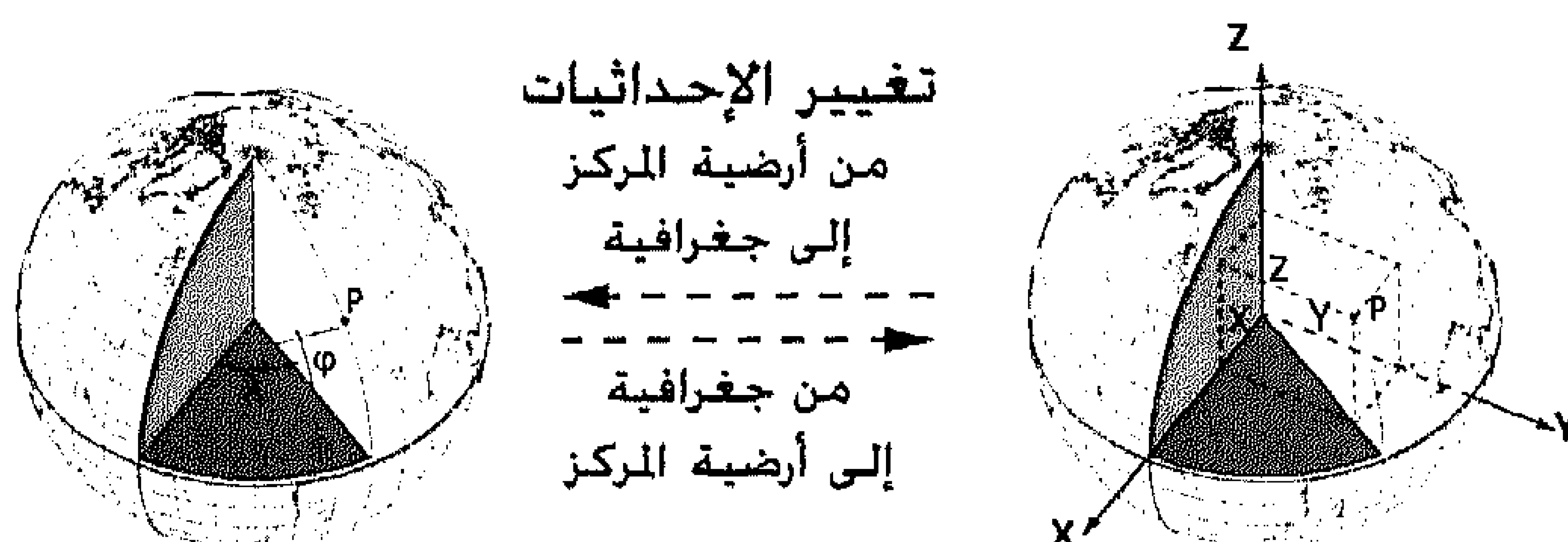
تتصف عمليات تغيير الإحداثيات بدقة نتائجها وبخلوها من الأخطاء لأنها تُنفّذ في المرجع الجيوديسي الواحد.

5.1.1. بين الجغرافية وأرضية المركز

يرمز إلى العملية على الإحداثيات بين الإحداثيات الجغرافية وأرضية المركز في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 9602.

تأتي أهمية التحويل من الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز وبالعكس من أن بعض طرق تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية لا تعمل مع الإحداثيات الجغرافية بل تتطلب تحويل الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز أولاً وإجراء التحويل بين المرجعين الجيوديسيين المصدر

والهدف، ثم تحويل الإحداثيات أرضية المركز الناتجة من عملية التحويل إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى.



الشكل 5-1 تغيير الإحداثيات بين الجغرافية وأرضية المركز

على ذات المجسّم الإهليلجي يمكن تغيير الإحداثيات الجغرافية لنقطة (φ, λ, h) إلى إحداثيات أرضية المركز (X, Y, Z) كما يلي:

$$X = \left(v_\varphi + h\right) cos\, \varphi\, cos\, \lambda$$
$$Y = \left(v_\varphi + h\right) cos\, \varphi\, sin\, \lambda$$
$$Z = \left(v_\varphi (1 - e^2) + h\right) sin\, \varphi$$

حيث e^2 مربع اللا مركزية الأولى للمجسّم الإهليلجي، و v_φ نصف قطر الانحناء في الناظم الأعظم (انظر 3.3.1.1 المجسّم الإهليلجي).

على ذات المجسّم الإهليلجي يمكن تغيير الإحداثيات أرضية المركز لنقطة (X, Y, Z) إلى إحداثيات جغرافية (φ, λ, h) كما يلي:

$$\varphi = arctan\left(\frac{Z + e'^2\, b\, sin^3\, q}{(p - e^2\, a\, cos^3\, q)}\right)$$
$$\lambda = arctan\left(\frac{Y}{X}\right)$$
$$h\ = \left(\frac{p}{cos\, \phi}\right) - \, v_\varphi$$

حيث a وb نصفا قطري المجسّم الإهليلجي الكبير (الاستوائي) والصغير (القطبي)، وحيث e'^2

مربع اللا مركزية الثانية للمجسّم الإهليلجي (انظر 3.3.1.1 المجسّم الإهليلجي)، وحيث p وq قيمتان تساويان:

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2}$$
$$q = arctan\left(\frac{(Z\,a)}{(p\,b)}\right)$$

مشروع:

أوجد الإحداثيات أرضية المركز لكنيسة مار جرجس (Mar Jorjis Church) في مدينة الموصل، علماً بأن الإحداثيات الجغرافية والارتفاع الإهليلجي لها بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84:

$$\varphi = 36°20'26N,\ \ \lambda = 43°07'31E,\ \ h = 249.52\ m$$

الحل:

ثوابت المجسّم الإهليلجي WGS 84:

$$a = 6{,}378{,}137.00, \qquad b = 6{,}356{,}752.3142, \qquad e^2 = 0.0066943800$$

من العلاقات السابقة:

$$X = (6{,}385{,}647.00 + 249.52)0.587909437 = 3{,}754{,}328.82463\ m$$
$$Y = (6{,}385{,}647.00 + 249.52)0.550642627 = 3{,}516{,}346.83512\ m$$
$$Z = (6{,}385{,}647.00 \times 0.99330562 + 249.52)0.592583489030$$
$$= 3{,}758{,}845.11131\ m$$

للعودة إلى الإحداثيات الجغرافية:

$$e'^2 = 0.0067394968, \qquad p = 5{,}143{,}897.35, \qquad q = 0.632660185$$

ومن العلاقات السابقة:

$$\varphi = 36°20'26N,\ \ \lambda = 43°07'31E, \qquad h = 249.52\ m$$



تتوفر مجموعة من الأدوات الفورية للتحويل بين الإحداثيات الجغرافية والإحداثيات أرضية المركز على ويب، منها الأدوات المتوفرة على موقع APSalin:

http://www.apsalin.com/convert-cartesian-to-geodetic.aspx
http://www.apsalin.com/convert-geodetic-to-cartesian.aspx

5.1.2. بين الجغرافية ثلاثية الأبعاد والجغرافية ثنائية الأبعاد

يرمز إلى العملية على الإحداثيات بين الإحداثيات الجغرافية ثنائية وثلاثية الأبعاد في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 9659.

يتم تغيير الإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد (φ, λ, h) إلى الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد (φ, λ) ببساطة بحذف الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الإهليلجي.

التغيير من الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد (φ, λ) إلى الإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد غير محدد. لكن تتطلب بعض المهام تنفيذ هذه الخطوة لاستخدام النتائج في عملية أخرى، وهنا تُفترض قيمة مصطنعة للارتفاع الإهليلجي ما دامت ستُحذف لاحقاً عند العودة إلى الإحداثيات ثنائية الأبعاد. تكون هذه القيمة المصطنعة 0 لجميع النقاط مثلاً، أي (φ, λ, 0)، أو تستخدم قيمة الارتفاع الأورثومتري لكل نقطة، أي (φ, λ, H).

يمكن أيضاً بدلاً من افتراض قيمة مصطنعة تحويل الإحداثيات ثنائية الأبعاد إلى ثلاثية الأبعاد بالاعتماد على نموذج الجيوئيد أو **نموذج الارتفاع الرقمي** (digital elevation model: DEM) وبذلك تكون قيمة الارتفاع مأخوذة من نموذج ثلاثي الأبعاد يمثل منطقة الدراسة. نناقش هذه النماذج لاحقاً في الجزء المتعلق بالبيانات (انظر 5.2.35.2.3 التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية).

مشروع:

أوجد الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد لجامع القيروان الكبير (Great Mosque of Kairouan) في مدينة القيروان بتونس، علماً بأن الإحداثيات الجغرافية والارتفاع الإهليلجي لها بالنسبة إلى المرجع الجيوديسي WGS 84:

$$\varphi = 35°40'54.01\text{N},\ \lambda = 10°6'13.99E,\ h = 27.46\,m$$

الحل:

يمكن إيجاد الإحداثيات ثنائية الأبعاد بحذف الارتفاع الإهليلجي:

$$\varphi = 35°40'54.01"N,\ \ \lambda = 10°6'13.99"E$$

للعودة إلى الإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد، يمكن عدّ الارتفاع الإهليلجي 0:

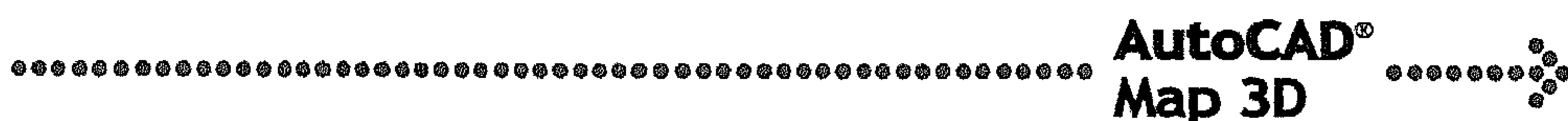
$$\varphi = 35°40'54.01N,\ \ \lambda = 10°6'13.99E,\ \ h = 0$$



يمكن تغيير الإحداثيات بين الجغرافية ثلاثية الأبعاد والجغرافية ثنائية الأبعاد في ArcGIS بتصدير البيانات بأي من أدوات ArcToolbox. كثير من هذه الأدوات توفر إعدادات البيئة (Environment Settings) وهي قيم يتم تطبيقها على نتيجة العملية قبل تنفيذها. إحدى هذه الإعدادات هي Z Values ويمكن التحكم من خلالها بالخيارات التالية:

الخيار	الشرح
Output has Z Values	هل البيانات الناتجة من العملية لها قيمة ارتفاع؟ يتم تحديد ذلك من خلال أحد الخيارات التالية: **Same As Input**: الاحتفاظ بالقيمة الحالية. **Enabled**: تمكين قيمة الارتفاع في البيانات المكانية. **Disabled**: تعطيل قيمة الارتفاع وحذفها من البيانات المكانية.
Default Output Z Value	القيمة الافتراضية للارتفاع التي تُعيّن لعُقَد (vertices) الكائنات المكانية. إذا لم يتم تحديد هذه القيمة الافتراضية يفترض ArcGIS القيمة 0 لجميع العقد.

الجدول 5-1 إعدادات البيئة في أدوات ArcToolbox في ArcGIS



لا يمكن حذف قيمة Z من الكائنات في AutoCAD Map 3D وذلك لأن القيمة Z خَصيصة (property) (مفرد خصائص) أصيلة لا تنفصل عن الكائنات. يمكن بدلاً من ذلك استخدام

الأمر Flatten لانتقاء بعض أو جميع الكائنات المكانية وتحويل القيمة Z فيها إلى صفر، إذا لم تكن كذلك، وبالتالي تحويلها إلى كائنات ثنائية الأبعاد:

Command: FLATTEN

لتغيير الإحداثيات إلى ثلاثية الأبعاد يمكن ضبط قيمة Z لبعض أو جميع الكائنات بنقلها باستخدام الأمر Move إلى الأعلى أو الأسفل ببساطة. المثال التالي يقوم بنقل نقطة إلى الأعلى 50 متراً، وبالتالي يضبط قيمة Z فيها إلى 50:

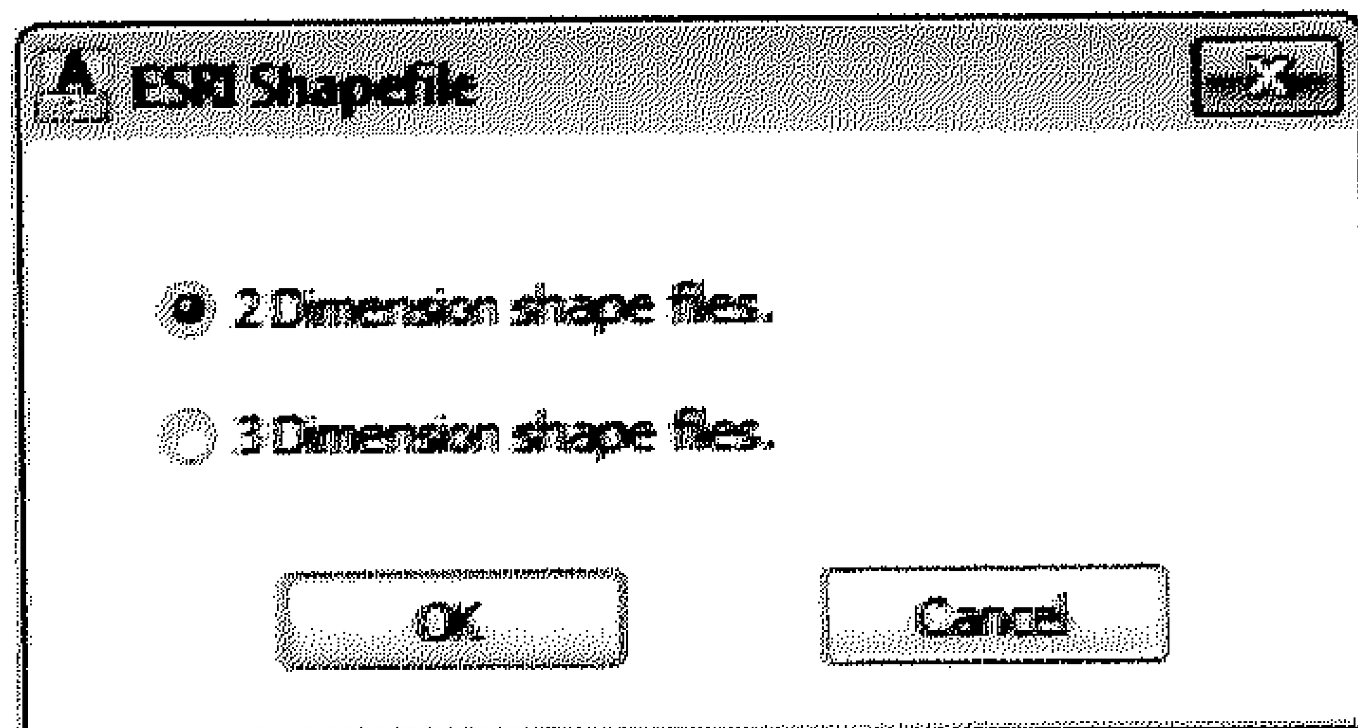
```
Command: MOVE
Select objects:
Select objects: 1 found
Specify base point or [Displacement] <Displacement>: 0,0,0
Specify second point or <use first point as displacement>: @ 0,0,50
```

AutoCAD® Map 3D

عند تصدير البيانات المكانية في AutoCAD Map 3D إلى هيئة ملفات SHP يمكن التحكم بما إذا كان التحويل سيحافظ على قيمة Z في البيانات الناتجة من التحويل.

Ribbon: Output > Map Data Transfer > Map 3D Export
Command: MAPEXPORT

في صندوق حوار تصدير البيانات، وفي لسان التبويب Options يمكن الوصول إلى خيار التحكم بالقيمة Z بالنقر فوق Driver Options.



الشكل 5-2 التحكم بتصدير قيمة Z في AutoCAD Map 3D

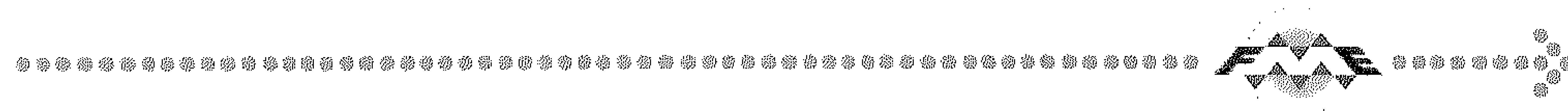
ORACLE® SPATIAL

يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامجين الفرعيين MAKE_2D أو MAKE_3D في حزمة SDO_CS لتغيير الإحداثيات بين الجغرافية ثلاثية الأبعاد والجغرافية ثنائية الأبعاد. المثال التالي يقوم

بتحويل معالم ثلاثية الأبعاد إلى معالم ثنائية الأبعاد عن طريق إزالة قيم البعد الثالث (الارتفاع):

```
SELECT SDO_CS.MAKE_2D(SDO_GEOMETRY(3003, 4326, NULL,
 SDO_ELEM_INFO_ARRAY(1, 1003, 1),
  SDO_ORDINATE_ARRAY(1, 1, 10, 5, 1, 10, 5, 7, 10, 1, 7, 10, 1, 1, 10)))
FROM DUAL;
--------------------------------------------------------------------------------
SDO_GEOMETRY(2003, 4326, NULL, SDO_ELEM_INFO_ARRAY(1, 1003, 1),
SDO_ORDINATE_ARRAY(1, 1, 5, 1, 5, 7, 1, 7, 1, 1))
```

بالإضافة إلى حذف الارتفاع، لاحظ الفرق بين نوع البيانات الأصلية 3003 (مضلع ثلاثي الأبعاد) ونوع البيانات الناتجة 2003 (مضلع ثنائي الأبعاد).

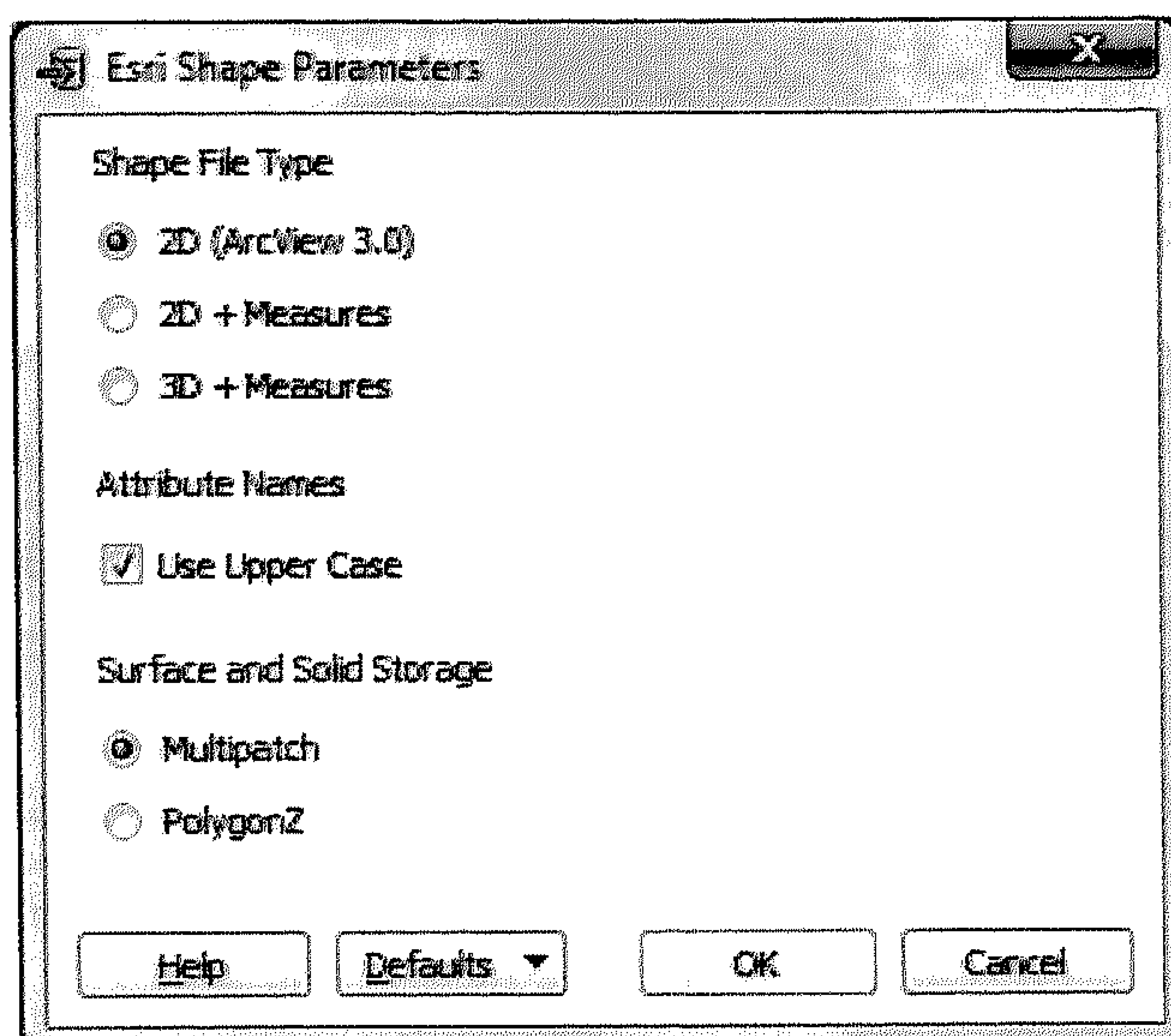


يتوفر في FME محوّلان يقومان بحذف أو إضافة قيمة Z إلى إحداثيات البيانات المكانية:

المحوّل	الشرح
2DForcer	يزيل أي قيمة ارتفاع (Z) في إحداثيات البيانات الأصلية. تتسبب بعض المعالم في حجم تخزين إضافي إذا كانت بيانات ثلاثية الأبعاد، وفي هذه الحالة يمكن استخدام هذا المحوّل لإزالة إحداثيات الارتفاع. بعد مرور البيانات عبر هذا المحول تصبح معالم ثنائية الأبعاد.
3DForcer	يحوّل البيانات ثنائية الأبعاد إلى ثلاثية الأبعاد بإضافة قيمة ارتفاع (Z) إلى إحداثياتها. إذا كانت المعالم ثنائية الأبعاد تتحول إلى ثلاثية الأبعاد ذات ارتفاع ثابت، أما إذا كانت هذه المعالم ثلاثية الأبعاد، يتم حذف الارتفاعات السابقة واستبدالها بالقيمة الثابتة التي يحددها المستخدم.

الجدول 5-2 محوّلات إضافة وإزالة قيم الارتفاع في FME

يمكن التحكم بقيمة الارتفاع أيضاً أثناء تحويل البيانات في FME وذلك حسب هيئة الملفات المراد التحويل إليها. المثال التالي يوضح صندوق حوار ESRI Shape Parameters عند تحويل البيانات إلى هيئة ملفات SHP:



الشكل 5-3 صندوق حوار **ESRI Shape Parameters** في **FME**

5.1.3. بين الجغرافية والمُسْقطة

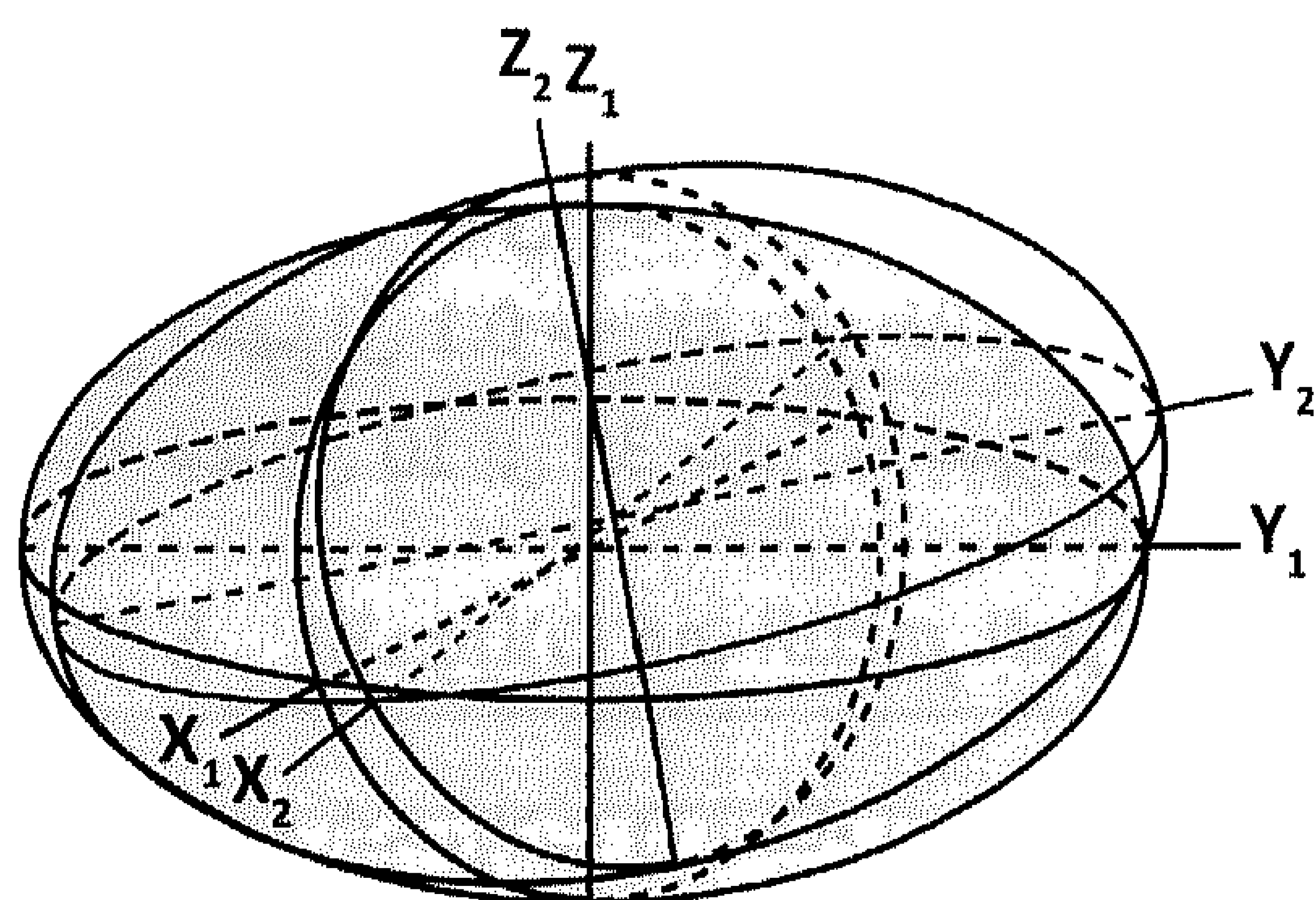
تشكل طرق الإسقاط مجموعة واسعة من العمليات على العمليات، حيث تقوم هذه العمليات بتحويل الإحداثيات الجغرافية إلى مسقطة (العلاقات المباشرة) أو الإحداثيات المسقطة إلى جغرافية (العلاقات العكسية)، ناقشناها في فصل الإسقاط والنظام المرجعي للإحداثيات المسقطة (انظر 4.11.3 إسقاط البيانات المكانية وتحويلها).

5.2. تحويل الإحداثيات

يتطلب العمل في مجال التقنيات المكانية تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة، ويكون ذلك في حالات مثل:

- انتقال الدولة إلى نظام إحداثيات مرجعي جديد يعتمد مرجعاً مختلفاً، ما يتطلب تحويل البيانات المكانية الحالية إلى ذلك النظام.
- تحويل بيانات من الأرشيف لا تتوافق مع النظام المرجعي المعمول به حالياً.
- استخدام تقنية نظام تحديد المواقع العالمي الذي يعتمد المجسّم الإهليلجي WGS 84، ما يتطلب تحويل الإحداثيات المقيسة عليه إلى النظام المرجعي المعمول به.
- استخدام بيانات مكانية منسوبة إلى أنظمة مرجعية مختلفة من جهات مختلفة.

ملاحظة مهمة: تعمل بعض تحويلات الإحداثيات مع الإحداثيات أرضية المركز (X, Y, Z) فقط، ولذلك تتطلب تغيير الإحداثيات الجغرافية (φ, λ, h) إلى أرضية المركز أولاً (انظر 5.1.1 بين الجغرافية وأرضية المركز) وتنفيذ التحويل عليها من المجسّم الإهليلجي المصدر إلى المجسّم الإهليلجي الهدف، ثم تغيير الإحداثيات أرضية المركز الناتجة من عملية التحويل إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى، بينما تعمل بعض التحويلات على الإحداثيات الجغرافية مباشرة، ومن السهل تمييز ذلك من صيغة معادلة التحويل.



الشكل 5-4 التحويل بين المجسّمات الإهليلجية

بالإضافة إلى تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية يتضمن هذا النوع من العمليات تحويل الارتفاعات بين المراجع الرأسية، مثل تحويل الارتفاعات الجيوديسية إلى ارتفاعات أورثومترية.

ثمة أسلوبان أساسيان لتحويل الإحداثيات بين المراجع، هما التحويل المعتمد على معادلة والتحويل المعتمد على شبكة:

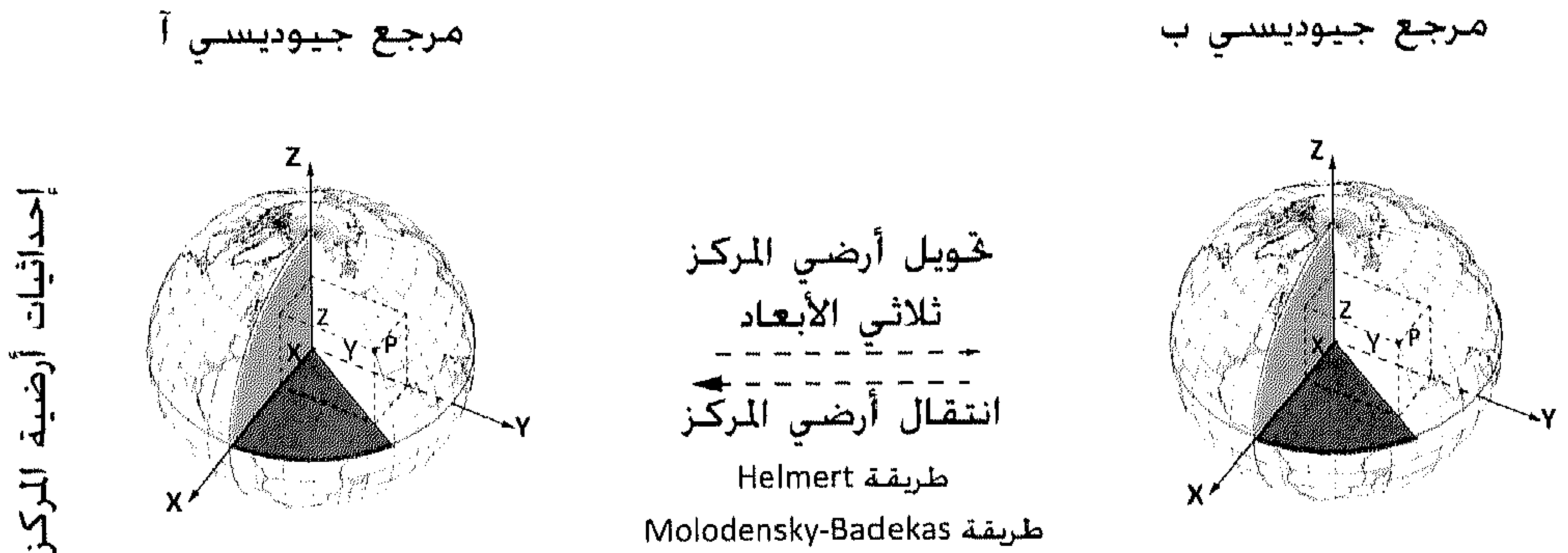
- **التحويل المعتمد على معادلة** (equation-based transformation): تستخدم في هذا الأسلوب معادلات رياضية للانتقال من مرجع إلى آخر، باستخدام وسطاء التحويل التي تفسّر الفرق بين المرجعين تفسيراً هندسياً.

في **التحويل المعتمد على شبكة** (grid-based transformation) تُقسم المنطقة المراد تحويلها إلى شبكة من الخلايا (cells) ثم تُسجّل الفروق بين الإحداثيات المنسوبة إلى النظامين المرجعيين في كل خلية، ويُكرّر تسجيل الفروق ضمن الخلية الواحدة عدة مرات على مسافات متساوية، ثم إنشاء نموذج بهذه الفروق في معادلة رياضية، وبدلاً من الوسطاء يتطلب التحويل المعتمد على الشبكة ملفاً (قاعدة بيانات) توفرها الجهة المختصة. تُحوّل إحداثيات أي نقطة من مجسّم إلى آخر بالاعتماد على نموذج الفروق وباستخدام طريقة **الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية** (bi-linear interpolation).

يؤخذ على طرق التحويل المعتمد على معادلة أن العلاقة بين المراجع صحيحة من الناحية النظرية فقط، لكن الإحداثيات في الواقع تكون مقيسة ومنسوبة إلى نقاط الشبكة الجيوديسية الوطنية (انظر 3.6 الشبكة الجيوديسية الوطنية) التي تعاني من خطأ نسبي مرتفع أحياناً، ما يعني أن نتائج التحويل بين المراجع باستخدام هذه المعادلات ستعاني من خطأ نسبي أيضاً. في المقابل تُعدّ طريقة التحويل المعتمد على شبكة أكثر دقة بصورة عامة من طرق التحويل المعتمد على معادلة، وقد تصل دقتها إلى 0.1 من المتر، في مقابل طرق التحويل الأخرى المعتمدة على معادلة والتي تصل الدقة فيها إلى 10 إلى 30 متراً، كما تتميز هذه طرق التحويل المعتمد على شبكة بسهولة التطبيق.

.5.2.1 التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز

تعمل هذه التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز وهي الانتقال أرضي المركز وطريقة Helmert وطريقة Molodensky-Badekas:



الشكل 5-5 التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات أرضية المركز

.5.2.1.1 الانتقال أرضي المركز

يرمز إلى **الانتقال أرضي المركز** (geocentric translation) في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 1031 على الإحداثيات.

الانتقال أرضي المركز أو **طريقة الوسطاء الثلاثة** (three-parameter method) هي أبسط أنواع التحويلات، ويفترض توازي المحاور بين المجسّمين الإهليلجيين وأن خط الزوال الرئيسي هو خط زوال غرينيتش، وأن الفرق بين المجسّمين الإهليلجيين يقتصر على وجود انزياح بين مركزيهما:

الوسطاء المطلوبة		
وسطاء الانتقال (translation parameters)	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور X (متر)	ΔX (m)
	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور Y (متر)	ΔY (m)
	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور Z (متر)	ΔZ (m)
الوسطاء المستنتجة		
لا يوجد		

الجدول 3-5 وسطاء الانتقال أرضي المركز أو طريقة الوسطاء الثلاثة

يُعدّ مركز أحد المجسّمين في النقطة (0,0,0)، ويتم تحليل انزياح مركز المجسّم الثاني بالنسبة إليه إلى ثلاث مركبات ΔX وΔY وΔZ، تسمى وسطاء الانتقال، تكون قيمة كل واحد منها قيمة خطية تقاس بالمتر. يمكن تحويل الإحداثيات من النظام المصدر (source) إلى النظام الهدف (target) كما يلي:

$$X_T = X_S + \Delta X$$
$$Y_T = Y_S + \Delta Y$$
$$Z_T = Z_S + \Delta Z$$

حيث X_s الإحداثي X في النظام المصدر، وX_t الإحداثي X في النظام الهدف، وهكذا.

ملاحظة: الوسطاء المستخدمة في هذه الطريقة هي ذات الوسطاء المستخدمة في طريقة Molodensky المختصرة، ويضاف إلى الأخيرة فرق نصف القطر الكبير والتفلطح بين المجسّمين الإهليلجيين (انظر 5.2.2.1 طريقة Molodensky المختصرة).

مشروع:

يراد تحويل نقطة من مطار الغردقة الدولي إحداثياتها الجغرافية في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Egypt 1907 (رمزه 4229 في EPSG) المبني على المجسّم الإهليلجي Helmert 1906:

$$\varphi_S = 27°11'21.86N,\ \ \lambda_s = 33°48'17.13E,\ \ h_S = -37.13\ m$$

التحويل المطلوب إلى نظام الإحداثيات المرجعي WGS 84، حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من مصر من Egypt 1907 إلى WGS 84 (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1148 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -130\, m,\ \ \Delta Y = +110\, m,\ \ \Delta Z = -13\, m$$

الحل:

نقوم أولاً بتحويل الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز:

$$X_S = 4{,}717{,}527.34\, m,\ \ Y_S = 3{,}158{,}676.68\, m,\ \ Z_S = 2{,}896{,}913.58\, m$$

وبتطبيق المعادلات المذكورة أعلاه:

$$X_T = 4{,}717{,}527.34 - 130 = 4{,}717{,}397.335\, m$$
$$Y_T = 3{,}158{,}676.68 + 110 = 3{,}158{,}786.685\, m$$
$$Z_T = 2{,}896{,}913.58 - 13 = 2{,}896{,}900.577\, m$$

وهي الإحداثيات أرضية المركز للنقطة في WGS 84. نقوم بتحويل هذه الإحداثيات إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى:

$$\varphi_T = 27°11'22.255N,\ \ \lambda_T{=}33°48'23.079E,\ \ h_T = -21.12\, m$$

.5.2.1.2 طريقة Helmert

تسمى طريقة Helmert أيضاً **طريقة الوسطاء السبعة** (seven-parameter method) أو طريقة Bursa-Wolf. تُعدّ هذه الطريقة أكثر صعوبة ولكنها أكثر دقة من سابقتها، وتفترض عدم توازي محاور المجسّمين الإهليلجيين. يضاف إلى وسطاء الانتقال الثلاثة في الطريقة السابقة أربعة وسطاء إضافية هي الزوايا التي تصنعها محاور المجسّمين الإهليلجيين R_X وR_Y وR_Z، وهي قيم زاويّة تقاس بالثانية، أما الوسيط السابع فهو الفرق بين حجمي المجسّمين الإهليلجيين ويقدر بجزء في المليون:

الوسطاء المطلوبة		
(1) وسطاء الانتقال	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور X (متر)	ΔX (m)
(translation parameters)	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور Y (متر)	ΔY (m)
	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور Z (متر)	ΔZ (m)
(2) وسطاء الدوران	زاوية الدوران بين محوري X بين المجسّمين الإهليلجيين (ثانية)	R_X (sec)
(rotation parameters)	زاوية الدوران بين محوري Y بين المجسّمين الإهليلجيين (ثانية)	R_Y (sec)
	زاوية الدوران بين محوري Y بين المجسّمين الإهليلجيين (ثانية)	R_Z (sec)
(3) عامل الحجم (scale factor)	الفرق بين حجمي المجسّمين الإهليلجيين (جزء في المليون)	ΔS (ppm)
الوسطاء المستنتجة		
لا يوجد		

الجدول 5-4 وسطاء طريقة Helmert أو طريقة الوسطاء السبعة

في أوروبا تُعرّف زوايا الدوران بقيم موجبة مع عقارب الساعة وتسمى طريقة الوسطاء السبعة **تحويل متجه الموقع** (position vector transformation). يرمز إلى هذه الطريقة في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 1033 على الإحداثيات. ويكون الشكل العام لها في هذه الحالة:

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} 1 & -R_Z & +R_Y \\ +R_Z & 1 & -R_X \\ -R_Y & +R_X & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

أي:

$$X_T = M(X_S - R_Z\,Y_S + R_Y\,Z_S) + \Delta X$$
$$Y_T = M(+R_Z\,X_S + Y_S - R_X\,Z_S) + \Delta Y$$
$$Z_T = M(-R_Y\,X_S + R_X\,Y_S + Z_S)) + \Delta Z$$

حيث:

$$M = 1 + (\Delta S\ 10^{-6})$$

أما في الولايات المتحدة وأستراليا ودول أخرى فتُعرّف زوايا الدوران بقيم موجبة عكس عقارب الساعة وتسمى طريقة الوسطاء السبعة **التحويل الدوراني لإطار الإحداثيات**

(coordinate frame rotation transformation). يرمز إلى هذه الطريقة في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 1032 على الإحداثيات. ويكون الشكل العام لها في هذه الحالة:

$$\begin{pmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & +R_z & -R_y \\ -R_z & 1 & +R_x \\ +R_y & -R_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

الطريقة المفضلة في المواصفة القياسية ISO 19111 هي تحويل متجه الموقع.

ملاحظة: يمكن أن يطلق على حالات خاصة من طريقة الوسطاء السبعة أسماء أخرى تعكس قيم الوسطاء، فإذا كانت وسطاء الدوران معدومة القيمة مثلاً، تسمى طريقة الوسطاء الأربعة (ثلاثة وسطاء للانتقال وعامل الحجم) وهكذا.

مشروع:

يراد تحويل نقطة من مدينة المرفأ في المنطقة الغربية بإمارة أبو ظبي إحداثياتها الجغرافية في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Nahrwan 1967 المعتمد على المجسّم الإهليلجي Clarke 1880 (RGS):

$$\varphi_S = 24°5'53.08\text{N}, \ \lambda_s = 53\ 28'33.46E, \ h_S = 80.91\ m$$

التحويل المطلوب إلى نظام الإحداثيات المرجعي WGS 84، حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من إمارة أبو ظبي من Nahrwan 1967 إلى WGS 84 (عملية تحويل الإحداثيات رقم 15938 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -225.4\ m, \ \Delta Y = -158.7\ m, \ \Delta Z = +380.8\ m$$
$$R_X = 0\ sec, \quad R_Y = 0\ sec, \ R_Z = +0.814\ sec$$
$$\Delta S = -0.38\ ppm$$

الحل:

نقوم أولاً بتحويل الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز:

$$X_S = 3{,}467{,}253.20\ m, \ Y_S = 4{,}681{,}614.59\ m, \ Z_S = 2{,}588{,}021.22\ m$$

وبتطبيق المعادلات المذكورة أعلاه:

$$X_T = 3{,}467{,}008.01\,m,\;\; Y_T = 4{,}681{,}467.80\,m,\;\; Z_T = 2{,}588{,}401.04\,m$$

وهي الإحداثيات أرضية المركز للنقطة في WGS 84. نقوم بتحويل هذه الإحداثيات إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى:

$$\varphi_T = 24°5'59.4"N,\;\; \lambda_T = 53°28'37.34",\;\; h_T = 49.13\,m$$



تتوفر العديد من الأدوات لتحويل الإحداثيات بين مرجعين جيوديسيين باستخدام طريقة الوسطاء السبعة بإدخال إحداثيات النقطة ومعلومات المرجعين الجيوديسيين ووسطاء التحويل مثل برنامج Datum Transformation الذي يمكن تنزيله من موقع كلية علوم المعلومات الجغرافية ومراقبة الأرض في جامعة Twente:

http://www.itc.nl/ilwis/downloads/tools/geodeticTools.asp

5.2.1.3. طريقة Molodensky-Badekas

وتسمى أيضاً **طريقة الوسطاء العشرة** (ten-parameter method)، وهي أسلوب شبيه بطريقة الوسطاء السبعة، ويضاف إليها ثلاثة وسطاء هي إحداثيات نقطة أصل المرجع X_p وY_p وZ_p التي تم تدوير المجسّم الإهليلجي حولها (انظر 3.3.1.4 المرجع الجيوديسي المحلي):

الوسطاء المطلوبة		
(1) **وسطاء الانتقال (translation parameters)**	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور X (متر)	ΔX (m)
	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور Y (متر)	ΔY (m)
	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور Z (متر)	ΔZ (m)
(2) **وسطاء الدوران (rotation parameters)**	زاوية الدوران بين محوري X بين المجسّمين الإهليلجيين (ثانية)	R_X (sec)
	زاوية الدوران بين محوري Y بين المجسّمين الإهليلجيين (ثانية)	R_Y (sec)
	زاوية الدوران بين محوري Y بين المجسّمين الإهليلجيين (ثانية)	R_Z (sec)
(3) **عامل الحجم (scale factor)**	الفرق بين حجمي المجسّمين الإهليلجيين (جزء في المليون)	ΔS (ppm)
(4) **إحداثيات مبدأ الدوران (نقطة أصل المرجع)**	إحداثي X لنقطة أصل المرجع التي تم تدوير المجسّم الإهليلجي حولها (متر)	X_p

الوسطاء المطلوبة		
(4) إحداثيات مبدأ الدوران (نقطة أصل المرجع)	إحداثي Y لنقطة أصل المرجع التي تم تدوير المجسّم الإهليلجي حولها (متر)	Y_P
	إحداثي Z لنقطة أصل المرجع التي تم تدوير المجسّم الإهليلجي حولها (متر)	Z_P
الوسطاء المستنتجة		
لا يوجد		

الجدول 5-5 وسطاء طريقة Molodensky-Badekas أو طريقة الوسطاء العشرة

يرمز إلى هذه الطريقة في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 1034 على الإحداثيات:

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} 1 & +R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1 & +R_X \\ +R_Y & -R_X & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_S - X_P \\ Y_S - Y_P \\ Z_S - Z_P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

أي:

$$X_T = M((X_S - X_P) + R_Z\,(Y_S - Y_P) - R_Y\,(Z_S - Z_P)) + X_P + \Delta X$$

وهكذا.

مشروع:

يراد تحويل نقطة من فنزويلا إحداثياتها الجغرافية في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية La Canoa المبني على المجسّم الإهليلجي International 1924:

$$\varphi_S = 9°35'00.386"N,\ \ \lambda_S = 66°04'48.091"W$$

التحويل المطلوب إلى نظام الإحداثيات المرجعي REGVEN المبني على المجسّم الإهليلجي WGS 84، حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من فنزويلا من La Canoa إلى REGVEN (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1771 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -270.933\,m,\ \ \Delta Y = +115.599\,m,\ \ \Delta Z = -360.226\,m$$
$$R_X = -5.266\,sec,\ \ R_Y = -1.238\,sec,\ \ R_Z = +2.381\,sec$$

$$\Delta S = -5.109\, ppm$$

$$X_P = 2464351.59\, m,\;\; Y_P = -5783466.61\, m,\;\; Z_P = 974809.81\, m$$

الحل:

نقوم أولاً بتحويل الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد إلى إحداثيات جغرافية ثلاثية الأبعاد، وفي هذا المثال اخترنا الارتفاع الأورثومتري للنقطة:

$$\varphi_S = 9°35'00.386\text{N},\;\; \lambda_s = 66°04'48.091W,\;\; h_S = 201.46\, m$$

نقوم بعد ذلك بتحويل الإحداثيات الجغرافية إلى أرضية المركز:

$$X_S = 2{,}550{,}408.96\, m,\;\; Y_S = -5{,}749{,}912.26\, m,\;\; Z_S = 1{,}054{,}891.11\, m$$

وبتطبيق المعادلات المذكورة أعلاه:

$$X_T = 2{,}550{,}138.46\, m,\;\; Y_T = -5{,}749{,}799.87\, m,\;\; Z_T = 1{,}054{,}530.82\, m$$

وهي الإحداثيات أرضية المركز للنقطة في REGVEN. نقوم بتحويل هذه الإحداثيات إلى إحداثيات جغرافية مرة أخرى:

$$\varphi_T = 24°5'59.4\text{N},\;\; \lambda_T = 53°28'37.34W,\;\; h_T = 180.51\, m$$

وبما أن الإحداثيات الجغرافية الأصلية للنقطة ثنائية الأبعاد نقوم بإسقاط الارتفاع الإهليلجي:

$$\varphi_T = 24°5'59.4"N,\;\; \lambda_T = 53°28'37.34"W$$

5.2.2. التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية

تعمل هذه التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية مباشرة من دون تحويل الإحداثيات إلى أرضية المركز أولاً، وهي طريقة Molodensky وطريقة Molodensky المختصرة منها والإزاحة الجغرافية والإزاحة الجغرافية المعتمدة على شبكة والتحويل كثير الحدود. سنناقش التحويل كثير الحدود لاحقاً (انظر 5.3.8 التحويل كثير الحدود):



الشكل 5-6 التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية

.5.2.2.1 طريقة Molodensky المختصرة

يرمز إلى طريقة Molodensky في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 9604. ويمكن الاستعاضة عنها بطريقة **مولودينسكي المختصرة** (Abridged Molodensky) التي يرمز لها في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9605 على الإحداثيات. تُنفّذ طريقة Molodensky المختصرة على الإحداثيات الجغرافية (φ, λ, h) مباشرة دون الحاجة إلى تحويلها إلى إحداثيات أرضية المركز:

الوسطاء المطلوبة		
(1) وسطاء الانتقال (translation parameters)	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور X (متر)	ΔX (m)
	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور Y (متر)	ΔY (m)
	الانزياح بين مركزي المجسّمين الإهليلجيين على محور Z (متر)	ΔZ (m)
الوسطاء المستنتجة		
(2) فروق وسطاء المجسّم الإهليلجي. يتم استنتاج هذه الفروق من وسطاء المجسّمين الإهليلجيين a وf.	فرق نصف القطر الكبير بين المجسّمين الإهليلجيين (متر)	Δa (m)
	الفرق بين تفلطحي المجسّمين الإهليلجيين	Δf

الجدول 5-6 وسطاء طريقة Molodensky المختصرة

لاحظ أن وسطاء طريقة Molodensky المختصرة هي ذات الوسطاء المستخدمة في الانتقال أرضي المركز، ويضاف إلى ذلك فرق نصف القطر الكبير والتفلطح بين المجسّمين الإهليلجيين.

$$\varphi_T = \varphi_S + \Delta\varphi$$
$$\lambda_T = \lambda_S + \Delta\lambda$$
$$h_T = h_S + \Delta h$$

حيث:

$$\Delta\varphi\,(sec) = (-\Delta X \sin\varphi_S \cos\lambda_S$$
$$- \Delta Y \sin\varphi_S \sin\lambda_S + \Delta Z \cos\varphi_S + (a_S\,\Delta f + f_S\,\Delta a)\sin(2\,\varphi_S))$$
$$/(\rho_S \sin 1")$$

$$\Delta\lambda\,(sec) = (-\Delta X \sin\lambda_S + \Delta Y \cos\lambda_S)/(\upsilon_S \cos\varphi_S \sin 1")$$

$$\Delta h = \Delta X \cos\varphi_S \cos\lambda_S$$
$$+ \Delta Y \cos\varphi_S \sin\lambda_S + \Delta Z \sin\varphi_S + (a_S\,\Delta f + f_S\,\Delta a)\sin^2\varphi_S - \Delta a$$

وحيث:

ρ_S: نصف قطر الانحناء لخط الزوال عند زاوية العرض φ

ν_S: نصف قطر الانحناء في الناظم الأعظم في المجسّم الإهليلجي المصدر (انظر 3.3.1.1 المجسّم الإهليلجي).

وفيما يلي جدول بوسطاء التحويل للمراجع المحلية للبلدان العربية إلى المرجع الجيوديسي WGS 84 يمكن استخدامها مع طريقة Molodensky المختصرة. قامت بحساب هذه الوسطاء وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية (NGA)، مرتبة حسب رموزها أبجدياً، مع بيان عدد المحطات المستخدمة في إيجاد قيم الوسطاء:

المرجع الجيوديسي المحلي		المجسّم الإهليلجي المرجعي وفروق الوسطاء			وسطاء التحويل (مع بيان الدقة)		
الاسم	الرمز	الاسم	Δa (m)	$\Delta f \times 10^{-4}$	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
ADINDAN السودان	ADI-B	Clarke 1880	-112.145	-0.54750714	-161 +/- 3	-14 +/- 5	+205 +/- 3
AFGOOYE الصومال	AFG	Krassowsky 1940	-108	0.00480795	-43 +/-25	-163 +/-25	45 +/-25
AIN EL ABD 1970 جزيرة البحرين	AIN-A	International 1924	-251&	-0.14192702	-150 +/-25	-250 +/-25	-1 +/-25
AIN EL ABD 1970 السعودية	AIN-B	International 1924	-251	-0.14192702	-143 +/-10	-236 +/-10	7 +/-10
CARTHAGE تونس	CGE	Clarke 1880	-112.145	-0.54750714	-263 +/- 6	6 +/-9	431 +/- 8
EUROPEAN 1950 مصر	EUR-F	International 1924	-251	-0.14192702	-130 +/-6	- 117 +/-8	-151 +/-8
EUROPEAN 1950 سوريا، لبنان، فلسطين، الأردن، العراق، الكويت، والسعودية	EUR-S	International 1924	-251	-0.14192702	-103	-106	-141
EUROPEAN 1950 تونس	EUR-T	International 1924	-251	-0.14192702	-112 +/-25	-77 +/-25	-145 +/-25
OMAN عُمان	FAH	Clarke 1880	-112.145	-0.54750714	-346 +/-3	-1 +/-3	224 +/-9
MERCHICH المغرب	MER	Clarke 1880	-112.145	-0.54750714	31 +/-5	146 +/-3	47 +/-3
NAHRWAN جزيرة مصيرة (عُمان)	NAH-A	Clarke 1880	-112.145	-0.54750714	-247 +/-25	-148 +/-25	369 +/-25
OLD EGYPTIAN 1907 مصر	OEG	Helmert 1906	-63	0.00480795	-130 +/-3	+110 +/-6	-13 +/-8
QATAR NATIONAL قطر	QAT	International 1924	-251	-0.14192702	-128 +/-20	-283 +/-20	-22 +/-20
NAHRWAN الإمارات	NAH-B	Clarke 1880	-112.145	-0.54750714	-249 +/-25	-156 +/-25	381 +/-25
NAHRWAN السعودية	NAH-C	Clarke 1880	-112,145	-0.54750714	-243 +/-20	-192 -20	477 +/-20
VOIROL 1874 الجزائر وتونس	VOI	Clarke 1880	-112.145	-0.54750714	-73	-247	227
VOIROL 1960 الجزائر	VOR	Clarke 1880	-112.145	-0.54750714	-123 +/-25	-206 +/-25	219 +/-25

الجدول 5-7 وسطاء التحويل إلى المرجع الجيوديسي **WGS 84** للبلدان العربية (عن **NGA**)

مشروع:

لنعد إلى مثال مطار الغردقة الدولي الذي ذكرناه في طريقة الوسطاء الثلاثة، وسنقوم بحله بطريقة Molodensky المختصرة لمقارنة النتائج بين الطريقتين.

هذه النقطة من مطار الغردقة الدولي إحداثياتها الجغرافية في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Egypt 1907 المبني على المجسّم الإهليلجي Helmert 1906:

$$\varphi_S = 27°11'21.86N, \ \lambda_s=33°48'17.13E, \ h_S = -37.13\,m$$

التحويل المطلوب إلى نظام الإحداثيات المرجعي WGS 84، حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من مصر من Egypt 1907 إلى WGS 84 (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1148 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -130\,m, \ \Delta Y = +110\,m, \ \Delta Z = -13\,m$$

الحل:

نقوم أولاً بحساب الفروق بين المجسّمين الإهليلجيين:

$$\Delta a = 6{,}378{,}137.00 - 6{,}378{,}200.00 = -63\,m$$
$$\Delta f = 0.003352810671831 - 0.003352329810918 = 0.00480861 \times 10^4$$

نقوم الآن بحساب ρ_s و ν_s:

$$\rho_S = 0.997904472, \ \upsilon_S = 6382661.47$$

نقوم بعد ذلك بحساب $\Delta\varphi$ و$\Delta\lambda$ وΔh:

$$\Delta\varphi = 0.3948169'', \quad \Delta\lambda = 5.9484912'', \ \Delta h = 16.0080378\,m$$

وبتطبيق المعادلات:

$$\varphi_T = \varphi_S + \Delta\varphi$$
$$\lambda_T = \lambda_S + \Delta\lambda$$
$$h_T = h_S + \Delta h$$

نجد:

$$\varphi_T = 27°11'22.254N,\ \lambda_T=33°48'23.079E,\ h_T = -21.12\ m$$

وبمقارنة نتائج تحويل هذه النقطة مع نتائج تحويل ذات النقطة في طريقة الوسطاء الثلاثة (عموماً ينصح باستخدام طريقة الوسطاء الثلاثة للحصول على نتائج أكثر دقة):

طريقة الوسطاء الثلاثة	طريقة Molodensky المختصرة
27°11'22.255"N	27°11'22.254"N
33°48'23.079"E	33°48'23.079"E
-21.12 m	-21.12 m

الجدول 5-8 مقارنة نتائج التحويل بين طريقة الوسطاء الثلاثة وMolodensky المختصرة



بمعرفة الإحداثيات الجغرافية ثلاثية الأبعاد أي زاوية العرض والطول والارتفاع الإهليلجي لثلاث نقاط في المرجع المحلي وكذلك في WGS 84 يمكن حساب قيم وسطاء التحويل ΔX وΔY وΔZ باستخدام برامج مخصصة لهذا الغرض مثل برنامج Inverse Molodensky الذي يمكن تنزيله من موقع كلية علوم المعلومات الجغرافية ومراقبة الأرض في جامعة Twente:

http://www.itc.nl/ilwis/downloads/tools/geodeticTools.asp

.5.2.2.2 الإزاحة الجغرافية

تُعدّ **الإزاحة الجغرافية** (geographic offset) من أبسط عمليات تحويل الإحداثيات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات الجغرافية، لكنها تتميز بالدقة المنخفضة، ولذلك تستخدم في الأغراض التي يمكن معها التسامح مع هذه الدقة المنخفضة. تستخدم الإزاحة الجغرافية عموماً لتحويل الإحداثيات في البعدين، زاويتي العرض والطول، ويرمز إلى الإزاحة الجغرافية في البعدين في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9619 على الإحداثيات:

$$\varphi_T = \varphi_S + \Delta\varphi$$
$$\lambda_T = \lambda_S + \Delta\lambda$$

حيث Δφ و Δλ فروق زوايا العرض والطول، وهي قيم ثابتة معطاة.

في حالات نادرة جداً، يمكن استخدام الإزاحة الجغرافية لتحويل الإحداثيات ثلاثية الأبعاد؛ زاويتي الطول والعرض والارتفاع الإهليلجي، بين مرجعين جيوديسيين، ويرمز إلى الإزاحة الجغرافية في الأبعاد الثلاثة في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9660 على الإحداثيات:

$$\varphi_T = \varphi_S + \Delta\varphi$$
$$\lambda_T = \lambda_S + \Delta\lambda$$
$$h_T = h_S + \Delta h$$

ملاحظة: تستخدم الإزاحة الجغرافية ثلاثية الأبعاد بين مرجعين جيوديسيين، وليس بين مرجعين رأسيين (لتحويل الإحداثيات الرأسية بين مرجعين رأسيين (انظر 5.2.30 التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية).

5.2.2.3. الإزاحة الجغرافية المعتمدة على شبكة

كما مر معنا، في التحويل **المعتمد على شبكة** (grid-based transformation) تُقسم المنطقة المراد تحويلها إلى شبكة من **الخلايا** (cells) ثم يصار إلى تسجيل الفروق بين الإحداثيات المنسوبة إلى النظامين المرجعيين في كل خلية، وتكرار تسجيل هذه الفروق ضمن الخلية الواحدة عدة مرات على مسافات متساوية، ومن ثم إنشاء نموذج بهذه الفروق في صورة معادلة رياضية، وبدلاً من الوسطاء يتطلب التحويل المعتمد على الشبكة ملفاً (قاعدة بيانات) توفرها الجهة المختصة. يتم تحويل إحداثيات أي نقطة من مجسّم إلى آخر بالاعتماد على نموذج الفروق وباستخدام طريقة **الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية** (bi-linear interpolation).

تُعدّ طريقة التحويل المعتمد على شبكة أكثر دقة بصورة عامة من طرق التحويل المعتمد على معادلة، وتتميز بسهولة التطبيق. يتطلب استخدام هذه الطرق ملفات التحويل ذات الصلة بمنطقة الدراسة التي لا تتوفر إلا من الجهات المختصة وهي ملفات ثنائية (binary files) عادة وتغطي بعض المناطق فقط، مثل الولايات المتحدة وكندا وبريطانيا، وتدعم تحويل الإحداثيات بين مراجع جيوديسية محدودة جداً. ومن هذه التحويلات:

- NADCON: يرمز لتحويل المرجع الأمريكي الشمالي (North American Datum Conversion) في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9613 على الإحداثيات. تستخدم NADCON في هيئة المساحة الجيوديسية الوطنية الأمريكية للتحويل بين الأنظمة المستخدمة في الولايات المتحدة.

- NTv2: يرمز للنسخة الثانية من التحويل الوطني (National Transformation version 2) في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9615 على الإحداثيات. تم تطوير NTv2 في هيئة الخرائط الوطنية في كندا، ثم اعتمدت في أستراليا و نيوزيلندا ودول أخرى.
- OSTN: يرمز لهذه الطريقة في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9633 على الإحداثيات، وتستخدم في بريطانيا.

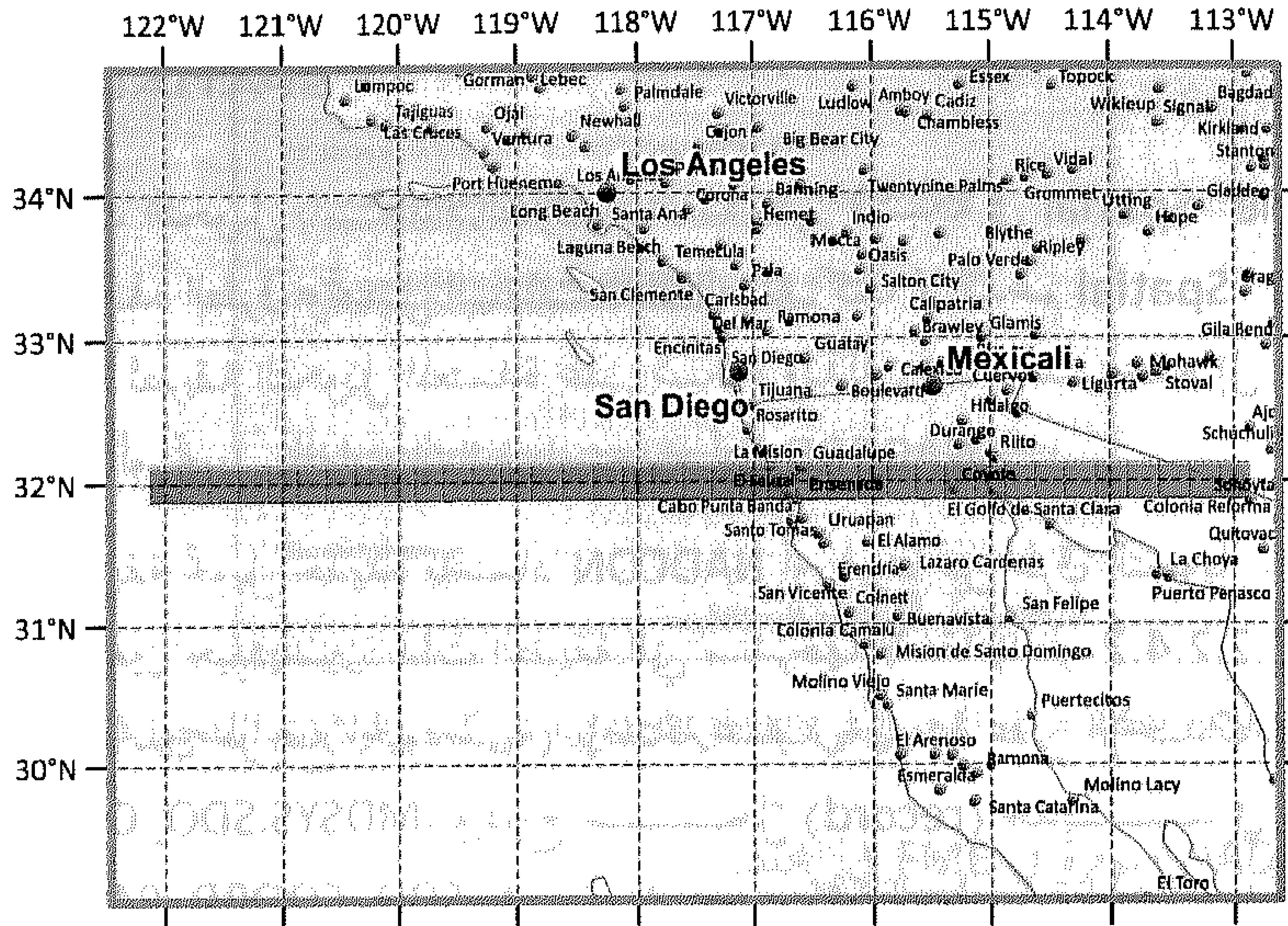
يستخدم NADCON مثلاً للتحويل بين المرجعين الجيوديسيين NAD 27 و83 NAD فقط وفي المناطق الواقعة في الولايات المتحدة، وقد قامت بتطويره الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) وتصل دقته إلى 0.1 من المتر، في مقابل طرق التحويل الأخرى المعتمدة على معادلة والتي تصل الدقة فيها إلى 10 إلى 30 متراً.

ملفات NADCON هي ملفات ثنائية ويكون لكل منطقة ملفان يحمل الأول اللاحقة los ويغطي وسطاء التحويل لزوايا الطول ويحمل الثاني اللاحقة las ويغطي وسطاء التحويل لزاويا العرض. يمكن باستخدام الأداة NADGRD المتوفرة في موقع المساحة الوطنية الأمريكية تحويل الملفات الثنائية إلى ملفات نصية وبالعكس.

المثال التالي يبين 37 خلية مستخرجة باستخدام الأداة NADGRD من أحد ملفات NADCON تغطي منطقة تبدأ من مربع يمر مركزه في زاوية الطول 122- درجة وزاوية العرض 32، وتغطي كل خلية ربع درجة أو 15 دقيقة. تتضمن كل قيمة فرق زاوية الطول بالثانية بين المرجعين الجيوديسيين NAD 27 و83 NAD:

```
NADCON EXTRACTED REGION        NADGRD
37 21 1 -122.00000 .25  32.00000 .25  .00000
.007383 .004806 .002222 -.000347 -.002868
-.005296 -.007570 -.009609 -.011305 -.012517
-.013093 -.012901 -.011867 -.009986 -.007359
-.004301 -.001389 .001164 .003282 .004814
.005503 .005361 .004420 .002580 .000053
-.002869 -.006091 -.009842 -.014240 -.019217
-.025104 -.035027 -.050254 -.072636 -.087238
-.099279 -.110968
```

يبين الشكل التالي مواقع هذه الخلايا:



الشكل 5-7 مثال على بيانات مستخدمة في تحويل NADCON



ArcGIS

يمكن إضافة ملفات التحويل ذات الامتداد LAS وLOS والتي تتضمن قيم الإزاحة بين زوايا العرض وزوايا الطول باستخدام NADCON في ArcGIS إلى المجلد:

C:\Program Files (x86)\ArcGIS\Desktop10.0\pedata\nadcon

كما يمكن إنشاء طريقة تحويل جديدة باعتماد NADCON بين مرجعين جيوديسيين بذات الطريقة التي سنشرحها لاحقاً (انظر 5.2.2.4.2 إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية)، مع اختيار NADCON من القائمة المنسدلة Method Name.



AutoCAD® Map 3D

ملفات NADCON متوفرة في AutoCAD Map 3D في المجلد:

C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\Autodesk\Geospatial Coordinate Systems\Usa\Nadcon





لا تتوفر بيانات التحويل باستخدام الطرق المعتمدة على الشبكة في Oracle Spatial، حيث يجب تعريف هذه الطرق وتحميل البيانات ذات الصلة. كما لا يدعم Oracle Spatial قراءة الملفات الثنائية لطريقة التحويل المعتمدة على شبكة، ولذلك يحتاج المستخدم إلى الحصول على الملفات النصية أو تحويل الملفات الثنائية باستخدام أداة NADGRD.

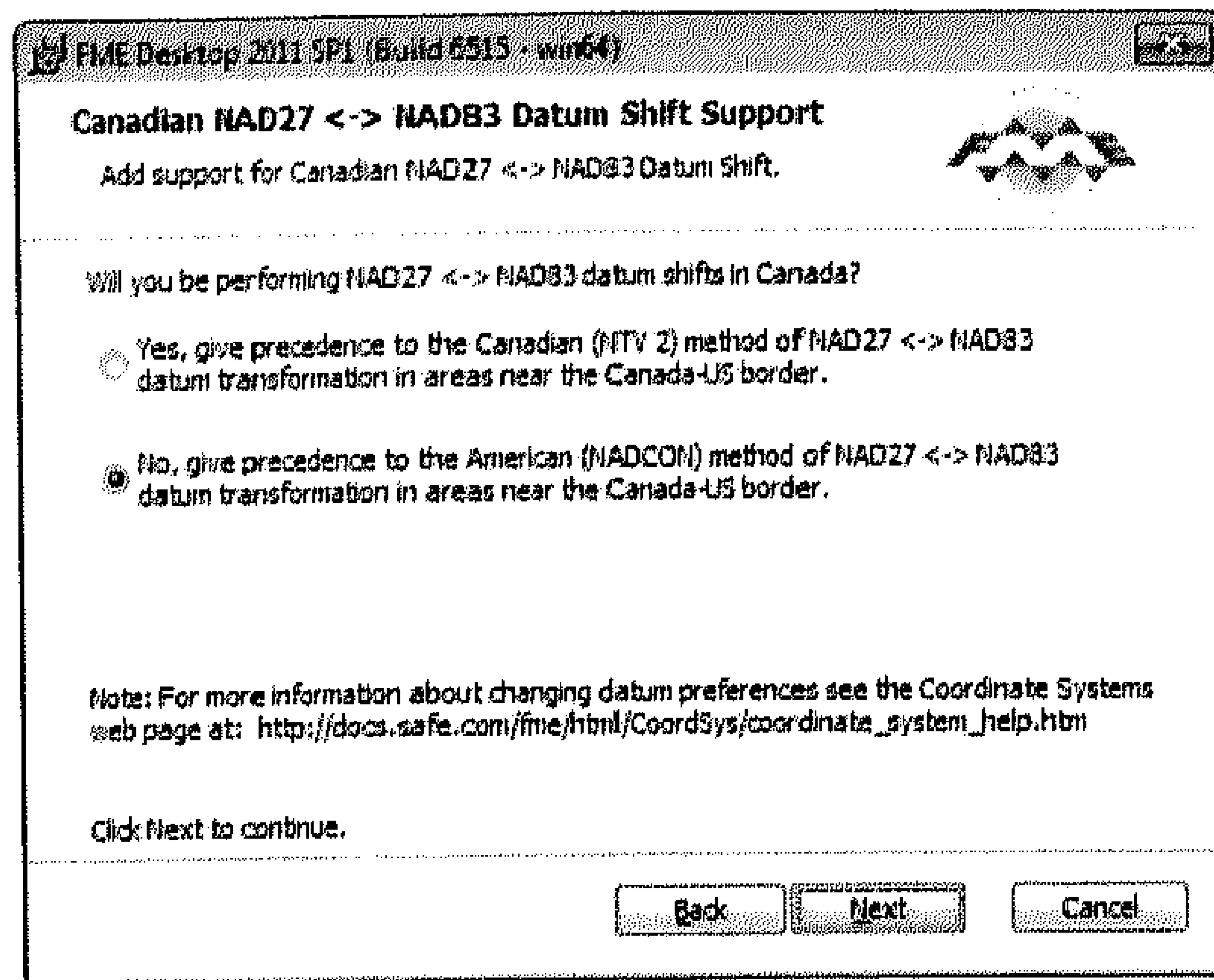
يمكن إنشاء طريقة تحويل جديدة باعتماد NADCON أو غيرها من طرق التحويل بالاعتماد على شبكة بين مرجعين جيوديسيين بذات الطريقة التي سنشرحها لاحقاً (انظر 5.2.2.4.2 إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية) بإضافة عملية جديدة على الإحداثيات إلى الجدول MDSYS.SDO_COORD_OPS، وإدراج سجلّ (record) جديد في الجدول SDD_COORD_PARAM_VALS يشير إلى معرّف العملية الجديدة في الحقل COORD_OP_ID واسم الملف في الحقل PARAM_VALUE_FILE_REF وإدراج محتويات الملف النصي في الحقل PARAM_VALUE_FILE.

بالإضافة إلى نسخ محتويات الملف النصي في الحقل PARAM_VALUE_FILE يمكن اختيارياً إدراج نسخة XML من الملف النصي في الحقل PARAM_VALUE_XML لأغراض التوثيق، ولذلك يدعم النظام أيضاً تحويل الملفات النصية إلى هيئة XML وبالعكس من خلال الإجراءات التالية المتوفرة في الحزمة SDO_CS:

- SDO_CS.CONVERT_NTV2_TO_XML
- SDO_CS.CONVERT_NADCON_TO_XML
- SDO_CS.CONVERT_XML_TO_NADCON
- SDO_CS.CONVERT_XML_TO_NTV2




أثناء تركيب FME يواجه المستخدم صندوق حوار يطلب من المستخدم تحديد طريقة التحويل للبيانات المكانية الواقعة في المنطقة الحدودية بين كندا والولايات المتحدة، ويمكن الانتقاء بين NTv2 للمستخدمين في كندا أو NADCON للمستخدمين في الولايات المتحدة. بالنسبة للمستخدمين في المنطقة العربية لا يشكل أي من هذين الخيارين فرقاً.

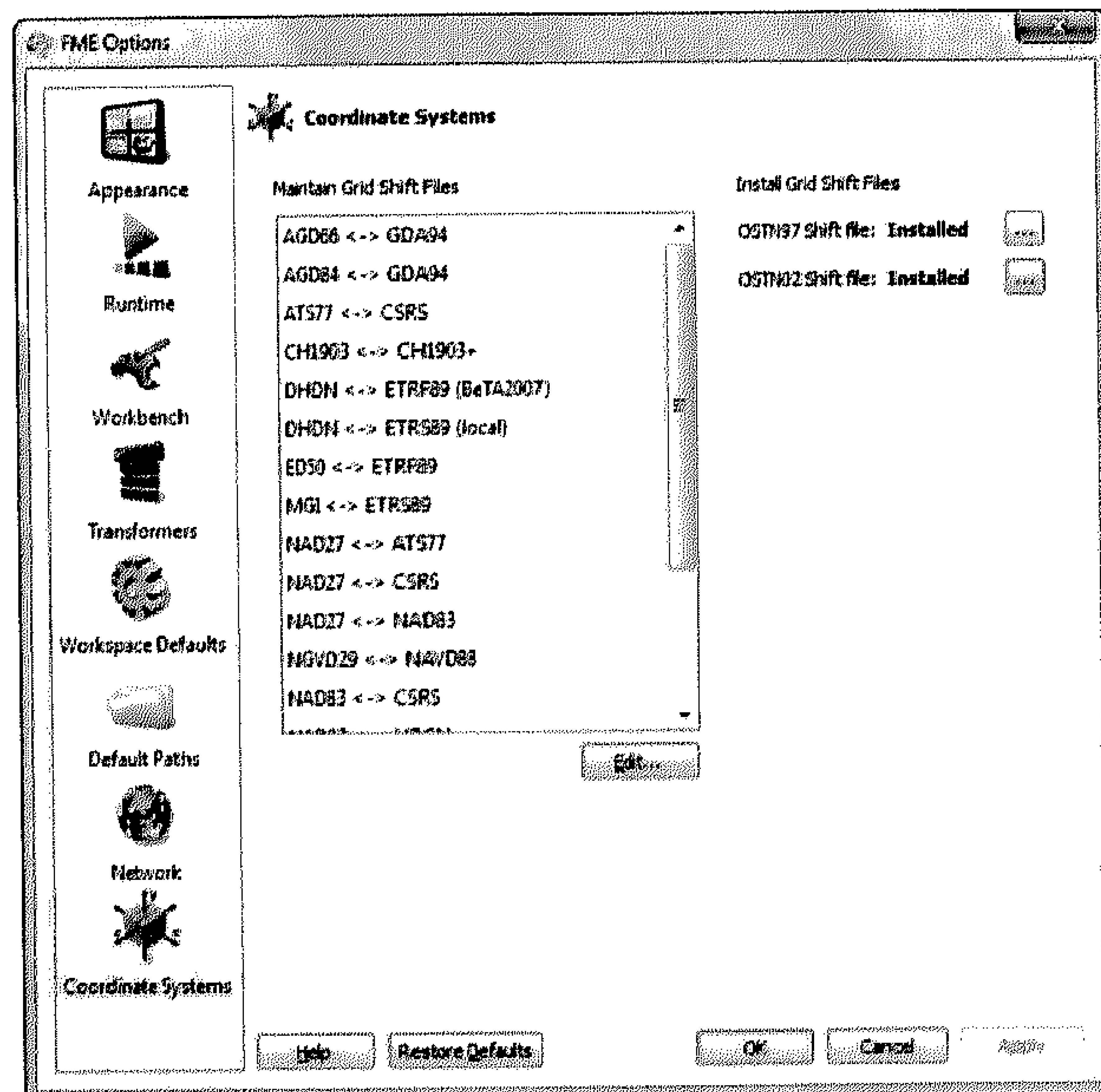


الشكل 5-8 انتقاء طريقة التحويل في المناطق الحدودية بين كندا والولايات المتحدة في FME

ملفات NADCON متوفرة في FME في المجلد:

C:\Program Files\FME\Reproject\GridData\Nadcon

يمكن إضافة وتحرير ملفات الإزاحة المعتمدة على شبكة في FME من خلال صندوق حوار البرنامج في القائمة Tools > FME Options وبالانتقال إلى مجموعة Coordinate Systems في قائمة الخيارات الجانبية:



الشكل 5-9 التحكم بملفات الإزاحة المعتمدة على شبكة في FME

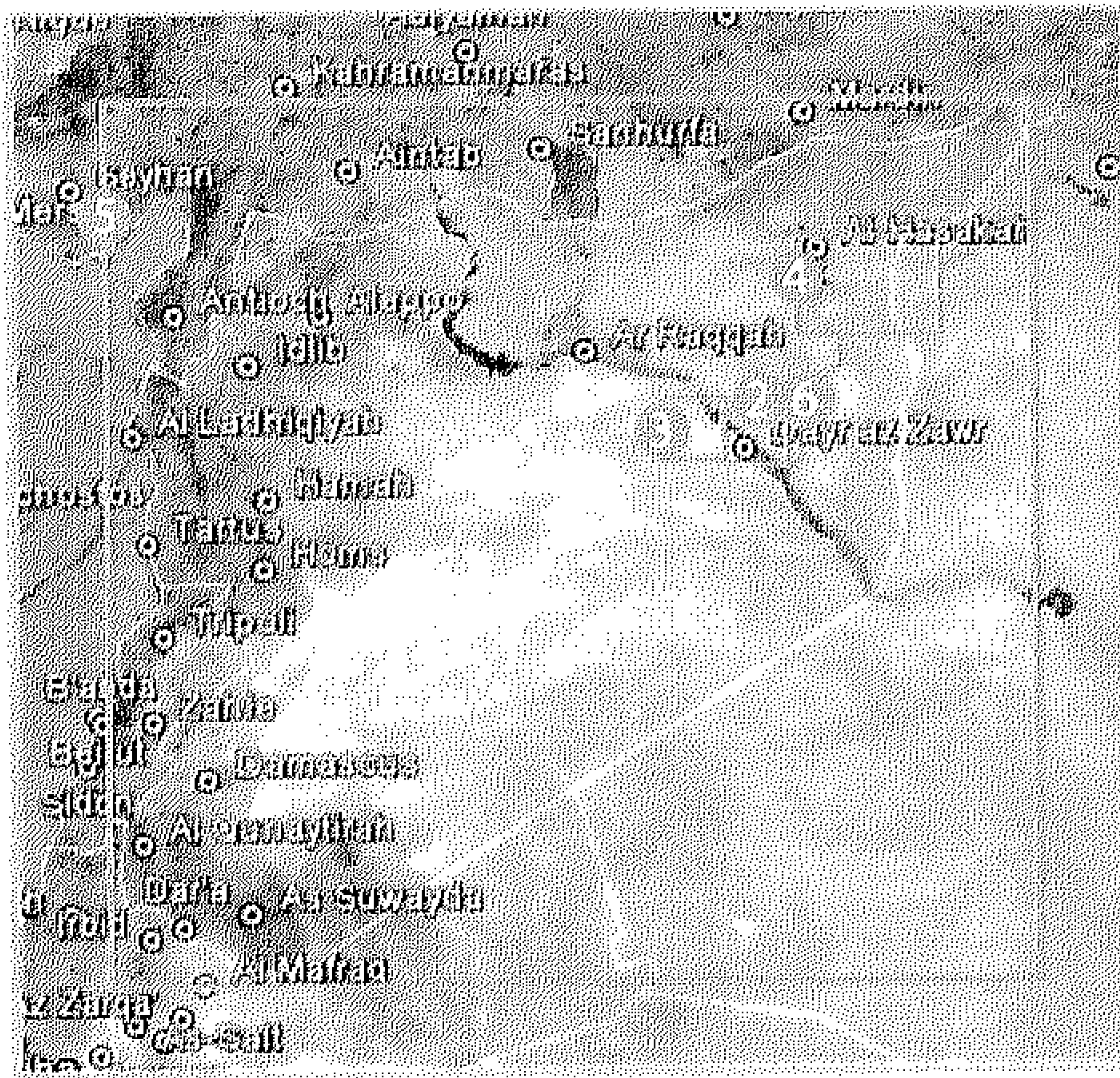
5.2.2.4. تحويل الإحداثيات الجغرافية في برامج نظام المعلومات الجغرافية

تتضمن برامج نظام المعلومات الجغرافية عمليات التحويل المعروفة في قاعدة بيانات EPSG، ويمكن تنفيذ عمليات التحويل على البيانات المكانية دون الحاجة إلى معرفة المعادلات السابقة. ويلاحظ المستخدم عند تحويل البيانات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات توفر أكثر من عملية تحويل واحدة ويعود ذلك لتوفر أكثر من عملية في قاعدة بيانات EPSG.

تختلف هذه العمليات في طريقة التحويل المستخدمة (انتقال أرضي المركز أو طريقة Helmert مثلاً) أو في قيم وسطاء التحويل حيث تكون وسطاء التحويل في عملية ما مناسبة لمنطقة جغرافية معينة ولا تكون مناسبة لمناطق أخرى. ويعود ذلك إلى قيام أكثر من جهة بإيجاد قيم هذه الوسطاء، إما في مناطق مختلفة، أو في ذات المنطقة وباستخدام مستويات مختلفة من الدقة (عدد مختلف من النقاط).

وبصورة عامة يجب عند استخدام طرق التحويل المعتمدة على معادلة تقسيم الدولة إلى مناطق أصغر وإيجاد وسطاء التحويل لكل منطقة على حدة، حيث يؤدي استخدام قيم واحدة لوسطاء تحويل في كافة مناطق الدولة إلى انخفاض دقة الإحداثيات الناتجة بصورة ملحوظة.

يبين الشكل التالي ستة مناطق في سوريا في قاعدة بيانات EPSG تتوفر لها عمليات تحويل للإحداثيات من النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة Deir ez Zor / Levant Stereographic إلى النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية WGS 84. يعتمد النظام المرجعي الأول المجسّم الإهليلجي Clarke 1880 (IGN) بينما يعتمد الثاني المجسّم الإهليلجي WGS 84.



الشكل 5-10 الحدود الجغرافية لعمليات التحويل

يتوفر لكل منطقة من المناطق المبينة بخط متقطع واحدة أو أكثر من عمليات التحويل. تعتمد كل عملية تحويل إما طريقة تحويل مختلفة أو وسطاء مختلفة. وعادة لا توضح برمجيات نظام المعلومات الجغرافية هذه المعلومات لكن يمكن الرجوع إلى قاعدة بيانات EPSG للتأكد منها لكل عملية.

المثال التالي يوضح نتيجة تحويل سور ومدخل قلعة حلب، باستخدام طريقتين: الأولى الانتقال أرضي المركز أو طريقة الوسطاء الثلاثة (المضلع الأحمر) وهي مصممة أصلاً للمنطقة 5 في الشكل السابق أي كامل سوريا، والثانية طريقة Helmert أو طريقة الوسطاء السبعة (المضلع الأخضر) وهي مصممة للمنطقة 6 في دير الزور.



الشكل 5-11 تأثير اختلاف طرق التحويل وقيم الوسطاء في العمليات على الإحداثيات

ويتضح من هذا المثال أن طريقة الوسطاء السبعة تتصف بنتائج تحويل ذات دقة أعلى من طريقة الوسطاء الثلاثة حتى عندما تكون مصممة لمنطقة أبعد، وأن استخدام قيم واحدة لوسطاء تحويل في كافة مناطق الدولة يؤدي إلى انخفاض دقة تحويل الإحداثيات الناتجة بصورة ملحوظة.

من ناحية أخرى، في حال عدم توفر قيم وسطاء التحويل، يمكن رصد إحداثيات ثلاث نقاط على الأقل بالنسبة إلى المجسّمين الإهليلجيين واستخدام المعادلات لإيجاد هذه القيم، كما يتوفر لهذا الغرض برامج تقوم بإيجاد قيم الوسطاء مثل برنامج Inverse Molodensky (انظر 5.2.2.1 طريقة Molodensky المختصرة). يمكن زيادة دقة قيم الوسطاء من خلال رصد إحداثيات عدد أكبر من النقاط موزعة بصورة مناسبة. ومن البدهي أن دقة الإحداثيات المرصودة تؤثر بصورة ملحوظة في دقة قيم الوسطاء.

من الجدير بالذكر أيضاً أن تحويل الإحداثيات المقيسة على نظام تحديد المواقع العالمي إلى مرجع محلي يتسبب في فقدان دقة تلك الإحداثيات نظراً للخطأ النسبي المرتفع في المراجع المحلية في مقابل الدقة المرتفعة لتقنية نظام تحديد المواقع العالمي.

.5.2.2.4.1 تحويل البيانات المكانية بين المراجع الجيوديسية

بصورة عامة يتم تحويل البيانات المكانية بين المراجع الجيوديسية بتصدير هذه البيانات مع ضبط النظام المرجعي للبيانات الناتجة من التصدير إلى النظام المرجعي المطلوب. وعادة ما تتوفر أكثر من طريقة لتصدير البيانات.

ملاحظة: أحياناً تتوفر أكثر من طريقة لتحويل البيانات بين مرجعين جيوديسيين، وتختلف برامج نظام المعلومات الجغرافية في معالجة ذلك. بعض البرامج مثل ArcGIS يمنح المستخدم خيار تحديد الطريقة المستخدمة في التحويل كلما أراد المستخدم تحويل بيانات بين هذين المرجعين، بينما تستخدم برامج أخرى مثل AutoCAD Map 3D وOracle Spatial أسلوب الطريقة المفضلة التي يمكن للمستخدم تحديدها في البرنامج بحيث تستخدم بصورة تلقائية.

كما في تحويل البيانات المكانية بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية، تختلف طريقة تحويل البيانات المتجهة والبيانات المتسامتة قليلاً، حيث يجب تحديد بعض المعلومات الإضافية عند تحويل البيانات المتسامتة:

- طريقة أخذ العينات (انظر 5.3.2 أخذ العيّنات عند تحويل البيانات المتسامتة).
- تحديد أبعاد الخلية الناتجة من عملية التحويل (output cell size)، لأن أبعاد الخلية قبل التحويل مقيسة على النظام المرجعي القديم ويجب تحويلها إلى ما يقابل ذلك في وحدات قياس النظام المرجعي الجديد ويمكن أن يؤدي إدخال أبعاد غير صحيحة للخلية إلى أخطاء فادحة.

بهدف تنظيم المعلومات في هذا الكتاب سنفترض أيضاً كما مر معنا في بحث النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية أن البيانات المتسامتة في المثال التالي مسندة جغرافياً أو تأتي مع ملف العالم المرافق، بينما سنتناول بالتفصيل الإسناد الجغرافي للبيانات المتسامتة وبنية ملف العالم لاحقاً (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات).



مشروع:

يراد تحويل بيانات مكانية متجهة ومتسامتة تمثل الطرق في جزيرة مصيرة (Masira Island) في عُمان من النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Nahrwan 1967 الذي يعتمد المجسّم الإهليلجي Clarke 1880 (RGS) إلى WGS 84.

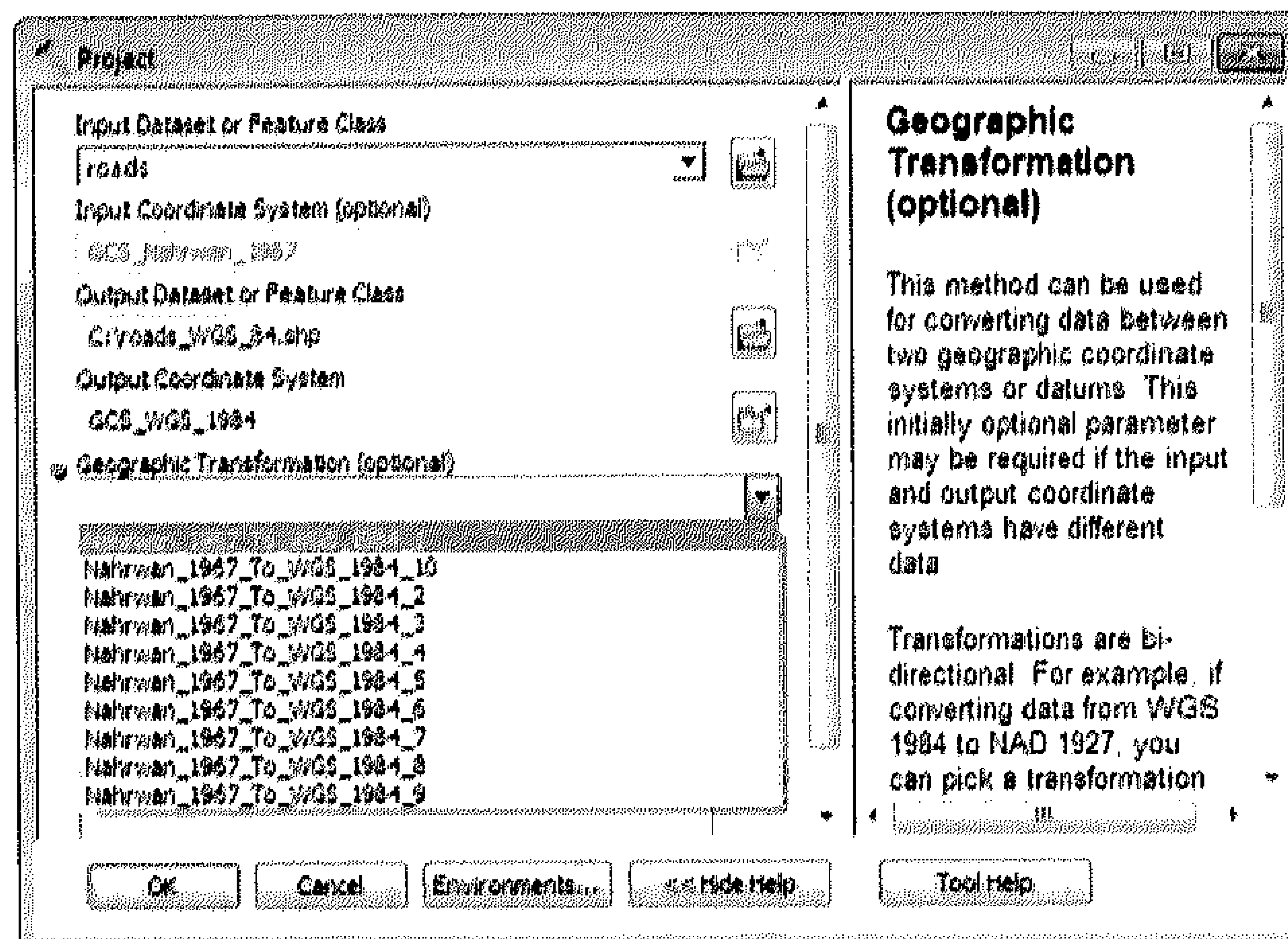
الحل:

يمكن تحويل البيانات المكانية في ArcGIS من نظام مرجعي إلى آخر باستخدام الأداة Project في ArcToolbox:

Data Management Tools > Projections and Transformations > Feature > Project

انقر فوق زر Browse وانتق الملف roads.shp إذا لم تقم بتحميله في ArcMap أو انتق roads من القائمة المنسدلة Input Dataset or Feature Class. يتعرف ArcGIS على النظام المرجعي لإحداثيات البيانات roads ويقوم تلقائياً بإدخال النظام GCS_Nahrwan_1967 في مربع الإدخال Input Coordinate System.

في مربع الإدخال Output Dataset or Feature Class ندخل اسم ومسار البيانات الجديدة، ونحدد النظام المرجعي الهدف أي WGS في مربع الإدخال Output Coordinate System بانتقائه من مكتبة البرنامج.

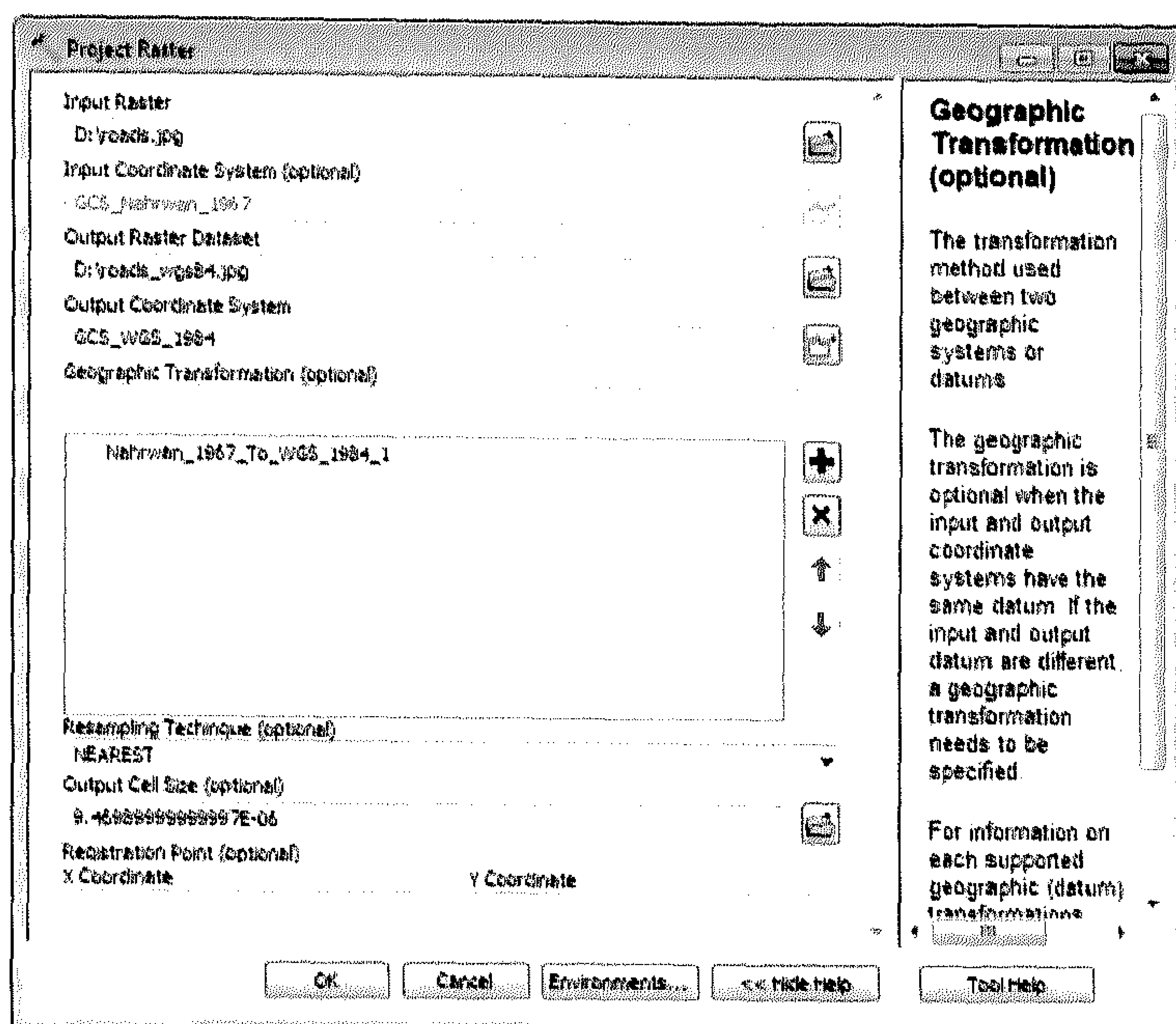


الشكل 5-12 التحويل بين المراجع الجيوديسية في ArcGIS

الآن نقوم بتحديد طريقة التحويل المطلوبة بانتقائها من القائمة المنسدلة Geographic Transformation، ونلاحظ وجود عدد من طرق التحويل التي تتشابه أسماؤها مرقمة من 1 إلى 10. كما ذكرنا سابقاً تستخدم كل واحدة منها طريقة تحويل مختلفة ووسطاء مختلفة ولها حدود جغرافية يمكن استخدامها فيها حسب قاعدة بيانات EPSG. نختار الطريقة Nahrwan_1967_To_WGS_1984_1 وهي مخصصة لجزيرة مصيرة.

يمكن تحويل البيانات المتسامتة في ArcGIS بالأداة Project Raster في ArcToolbox بطريقة مشابهة للخطوات المستخدمة في تحويل البيانات المتجهة:

Data Management Tools > Projections and Transformations > Raster > Project Raster



الشكل 5-13 تحويل البيانات المتسامتة بين المراجع الجيوديسية في **ArcGIS**

بالإضافة إلى الخطوات السابقة يجب إدخال معلومتين في الأداة Project Raster:

- طريقة أخذ العينات، وهي في المثال أعلاه فهي طريقة الجار الأقرب.
- تحديد أبعاد الخلية الناتجة من عملية التحويل (output cell size). عادة، يقوم ArcGIS بتعيين أبعاد الخلية الناتجة بناءً على النظامين المرجعيين اللذين يتم التحويل بينهما، ولكن ينصح بمراجعة هذه القيمة قبل المتابعة بعملية التحويل.

يعد إسقاط البيانات المتسامتة يقوم ArcGIS بكتابة ملف العالم والملف المساعد للبيانات الجديدة بحيث تظهر في موقعها الصحيح عند فتحها.

إذا كانت هيئة البيانات الناتجة هي JPEG أو JPEG 2000 أو قاعدة بيانات جيومكانية (geodatabase) يمكن النقر فوق الزر Environment في صندوق حوار Project Raster

للتحكم بخيارات ضغط الصورة في المجموعة Storage Raster في القائمة المنسدلة Compression.

AutoCAD® Map 3D

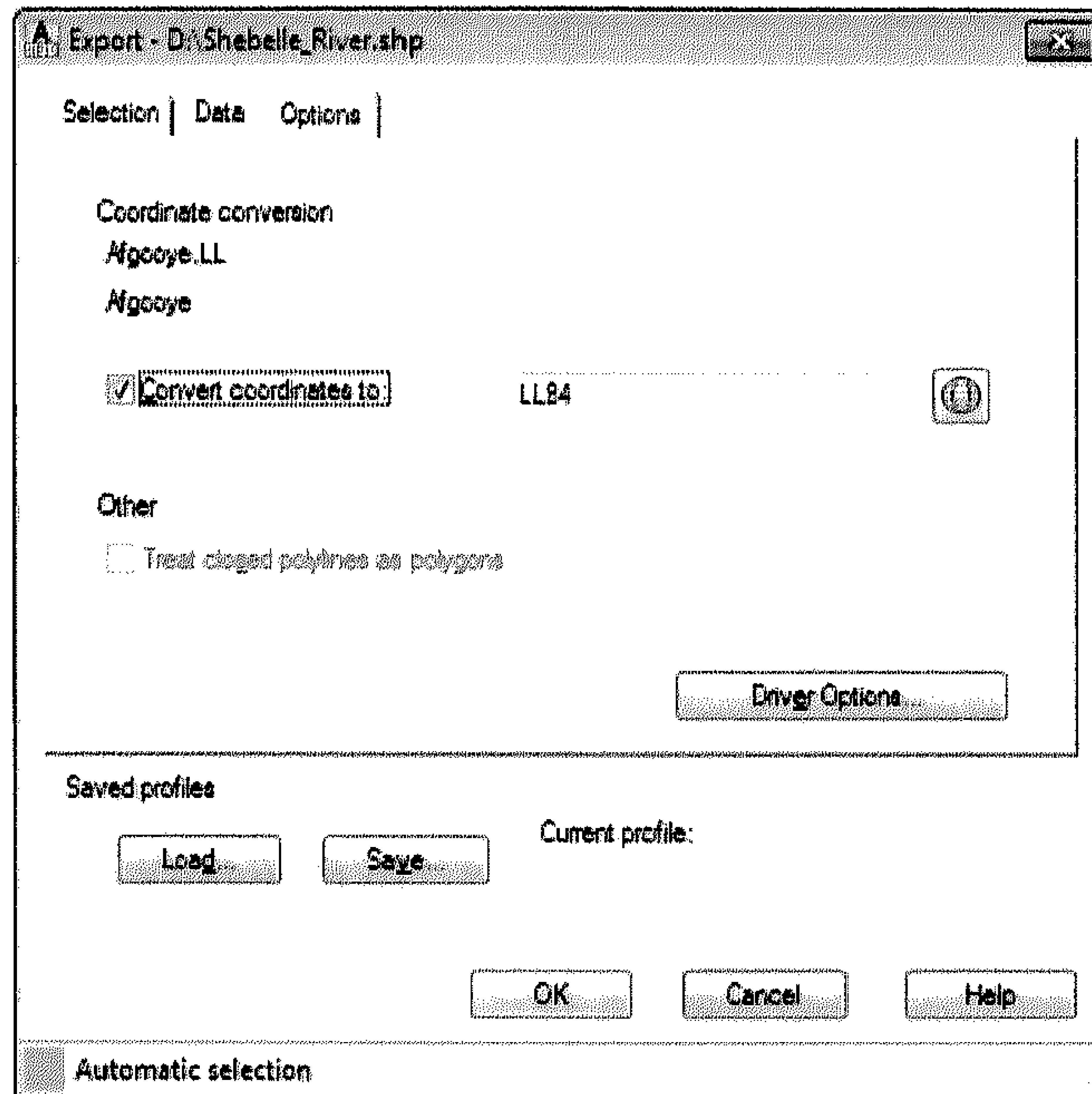
مشروع:

يراد تحويل بيانات مكانية تمثل نهر شبيلي (Shebelle River) في مقديشو (Mogadishu) في الصومال من النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية Afgooye الذي يعتمد المجسّم الإهليلجي Krassowsky 1940 إلى WGS 84.

الحل:

عند تصدير البيانات المكانية في AutoCAD Map 3D إلى أي هيئة يمكن التحكم بالنظام المرجعي لإحداثيات البيانات الناتجة من التحويل باستخدام الأمر Map 3D Export.

Ribbon: Output > Map Data Transfer > Map 3D Export
Command: MAPEXPORT



الشكل 5-14 التحكم بالنظام المرجعي لإحداثيات البيانات أثناء تصديرها في AutoCAD Map 3D

في صندوق حوار تصدير البيانات، وفي لسان التبويب (tab) المسمى Options يمكن ضبط النظام المرجعي لإحداثيات البيانات الناتجة بتمكين الخيار Convert coordinates to وانتقاء النظام المرجعي المطلوب بالنقر فوق زر مكتبة الأنظمة المرجعية أو كتابة رمز النظام في مربع الإدخال. إذا رغب المستخدم في استخدام قيم وسطاء أخرى أو طريقة تحويل مختلفة، يمكن تعريف طريقة تحويل جديدة في AutoCAD Map 3D بين المرجعين الجيوديسيين وسيقوم البرنامج باستخدامها بصورة تلقائية (انظر 5.2.2.4.2 إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية).

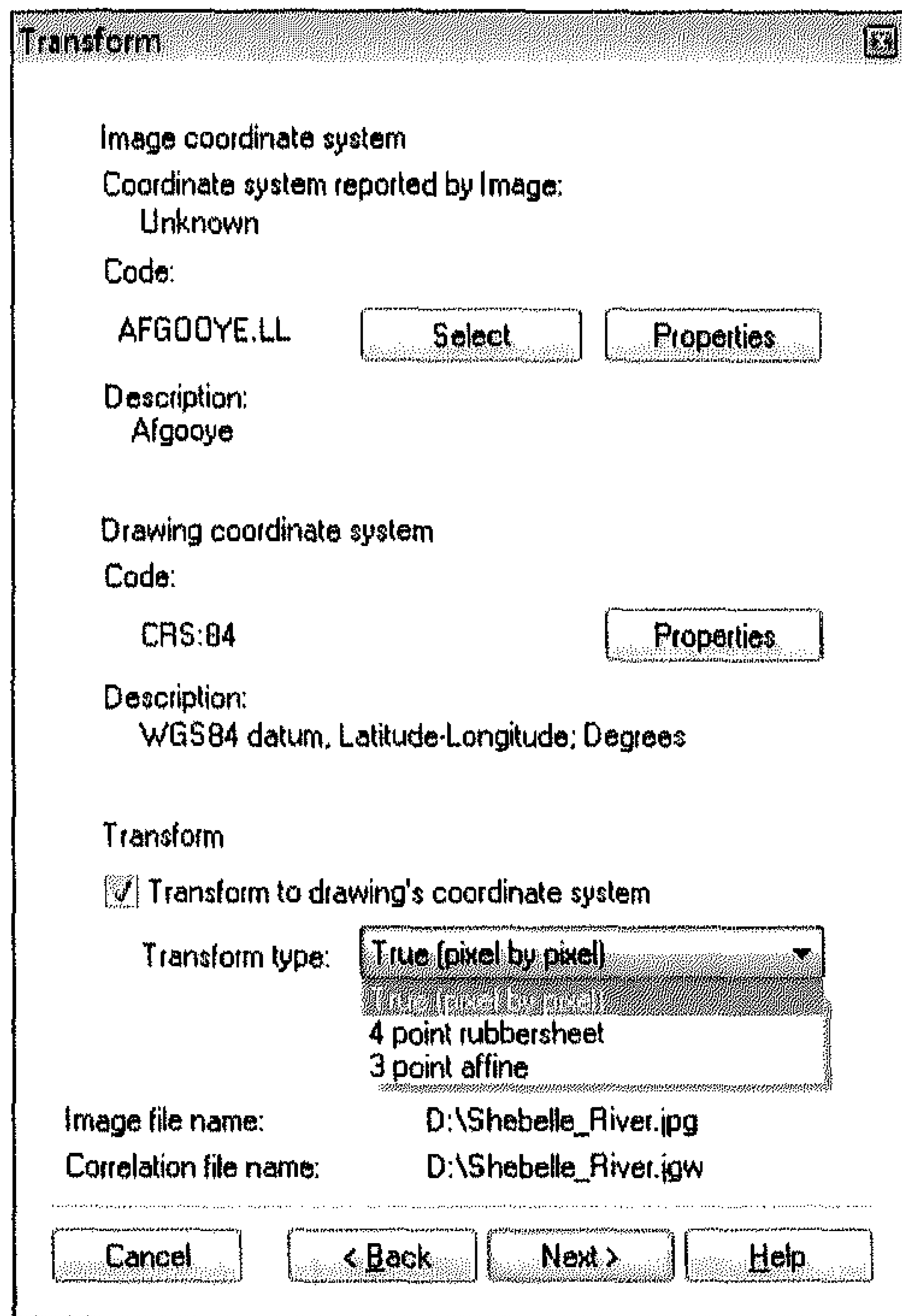
يتم تحويل البيانات المتسامتة في AutoCAD Map 3D بإعداد ملف الخريطة الحالي بحيث يكون WGS 84 هو النظام المرجعي فيه، وباستخدام الملحق Raster Design يتم إدراج الصورة ومن ثم تصديرها (وملف العالم المرافق) إلى ملف جديد، أو تصدير ملف العالم فقط.

يتم إدراج الصورة في الملحق Raster Design باستخدام الأمر Insert:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > Insert
Command: IINSERT

بعد ذلك يتم انتقاء الملف وفي صندوق الحوار Pick Correlation Source تحديد أسلوب الارتباط وهو الارتباط باستخدام ملف العالم (world file correlation) أو الارتباط باستخدام ملف الصورة (image file correlation)، كما يمكن تعديل معلومات الارتباط في صندوق الحوار التالي Modify Correlation Values.

أولاً يجب إسقاط الصورة إلى النظام المرجعي لملف الخريطة ويمكن ذلك في صندوق الحوار Transform بتمكين الخيار Transform to drawing's coordinate system:



الشكل 5-15 تحويل البيانات المتسامتة في الملحق Raster Design في **AutoCAD Map 3D**

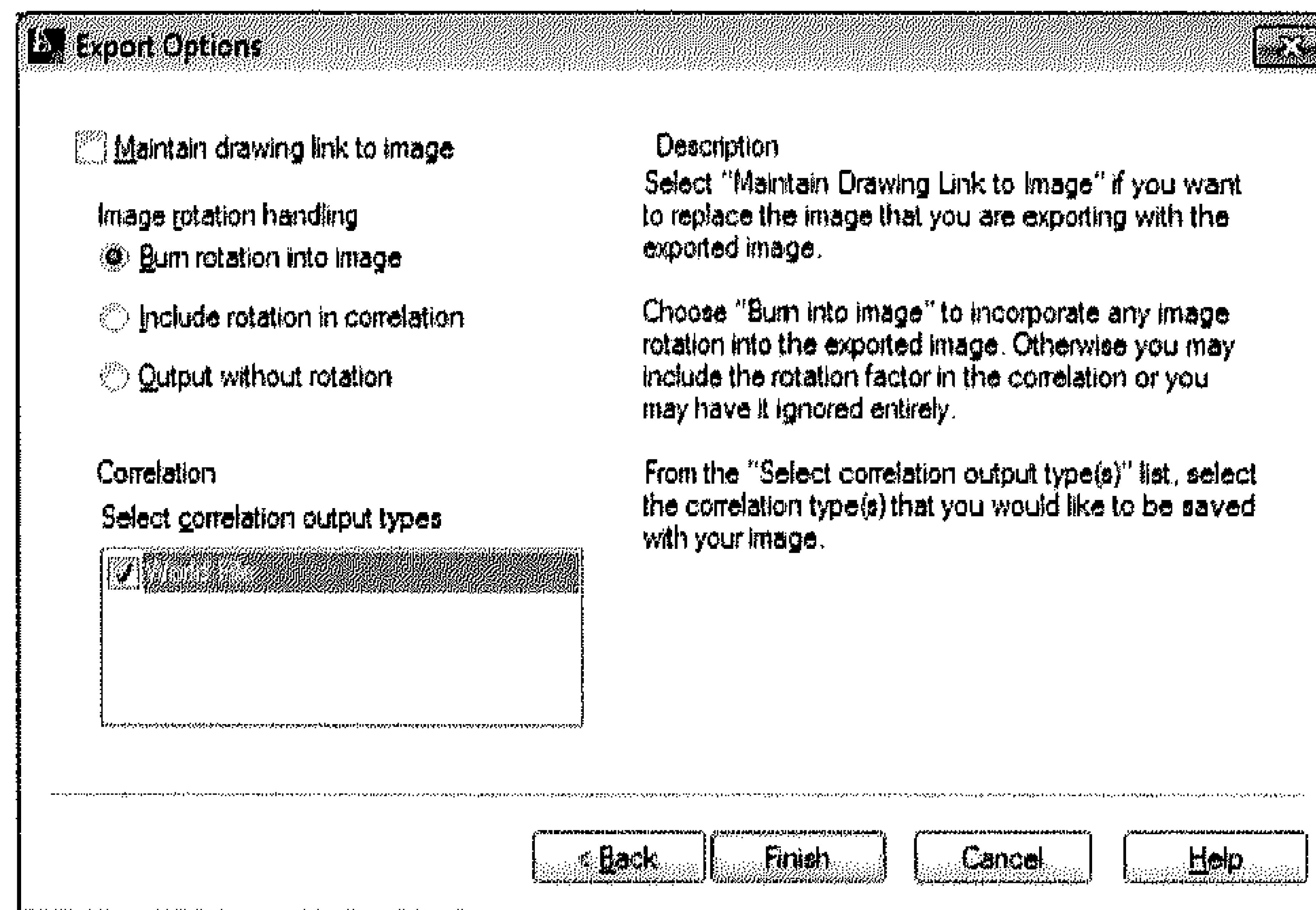
يمكن انتقاء طريقة التحويل بين الخيارات الثلاثة True أو 4 point rubbersheet أو 3 point affine (انظر 5.3 عمليات أخرى على الإحداثيات لمعلومات التحويل المتصل والتصفيح المطاطي).

بعد إدراج الصورة في AutoCAD Map 3D يمكن حفظ الصورة في النظام المرجعي WGS 84 بطريقتين؛ الأولى تصدير الملف والثانية تصدير ملف العالم فقط.

يمكن تصدير الملف إلى ملف جديد في الطريقة الأولى من خلال الأمر World File:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > Image Export
Command: IEXPORT

ويمكن في هذه الحالة تصدير الصورة إلى هيئة ملفات GeoTIFF مثلاً التي تدعمها معظم برمجيات نظام المعلومات الجغرافية بحيث تُحفظ معلومات النظام المرجعي ومعلومات الارتباط ضمن الصورة، أو انتقاء أي هيئة ملفات أخرى مع حفظ معلومات الارتباط في ملف العالم المرافق. إذا كانت الصورة تصنع زاوية مع محاور الإحداثيات يمكن للمستخدم التحكم بما إذا كان يرغب بتعريف زاوية الدوران في ملف العالم أو إنشاء صورة جديدة لا تصنع زاوية مع محاور الإحداثيات تتسع للصورة القديمة ويتم ملء الفراغ بخلايا فارغة:



الشكل 16-5 خيارات تصدير الصورة في الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D

في الطريقة الثانية يتم تصدير ملف العالم فقط بحيث يسمح بتسجيل الصورة جغرافياً طبقاً للنظام المرجعي WGS 84، ويكون ذلك من خلال الأمر World File:

Ribbon: Raster Tools > Insert & Write > World File
Command: IWORLDOUT



مشروع:

يراد تحويل البيانات المكانية التي تمثل نهر شبيلي في المثال السابق.

الحل:

يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي TRANSFORM_LAYER في حزمة SDO_CS لتحويل البيانات بين نظامين مرجعين للإحداثيات، مع تحديث ما وراء البيانات (metadata) بإدراج النظام المرجعي الجديد والحدود المكانية الجديدة للبيانات.

بفرض أن الجدول SHEBELLE_RIVER يتضمن البيانات المكانية في الحقل SHAPE يمكن تحويل البيانات في Oracle Spatial إلى النظام المطلوب وحفظها في الجدول SHEBELLE_RIVER _WGS84 بتنفيذ التعليمة التالية:

```
CALL SDO_CS.TRANSFORM_LAYER(
   'SHEBELLE_RIVER',
   'SHAPE',
   'SHEBELLE_RIVER_WGS84',
   4326);
INSERT INTO user_sdo_geom_metadata VALUES ('SHEBELLE_RIVER_WGS84','SHAPE',
 MDSYS.SDO_DIM_ARRAY(
   MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('LONGITUDE',-180,180,0.05),
   MDSYS.SDO_DIM_ELEMENT('LATITUDE',-90,90,0.05)
 ),
 4326
);
COMMIT;
```

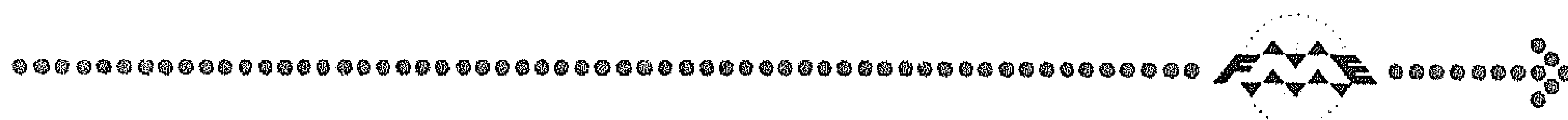
حيث 4326 معرّف النظام المرجعي WGS 84 في Oracle Spatial ويمكن إيجاده في الجدول MDSYS.SDO_COORD_REF_SYS. يستخدم Oracle Spatial أسلوب الطريقة المفضلة عند إجراء التحويل، ويمكن للمستخدم التحكم بالطريقة المفضلة أو إنشاء طريقة تحويل جديدة وجعلها مفضلة (انظر 5.2.2.4.2 إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية).

يمكن استخدام البرنامج الفرعي REPROJECT لتحويل البيانات المتسامتة بين نظامين مرجعين. بفرض أن الجدول SHEBELLE_RIVER يتضمن البيانات المتسامتة في الحقل GEORASTER وأن معرّف البيانات المتسامتة المطلوب تحويلها في الجدول المذكور هو 10 يمكن تحويل هذه البيانات إلى

النظام المطلوب وحفظها في الجدول SHEBELLE_RIVER _WGS84 كما يلي:

```
DECLARE
  g1 SDO_GEORASTER;
  g2 SDO_GEORASTER;
BEGIN
 SELECT georaster INTO g1 from SHEBELLE_RIVER WHERE id=10;
 INSERT INTO SHEBELLE_RIVER _WGS84 (id, georaster) VALUES (21,
                    MDSYS.SDO_GEOR.init ('RDT_1', 21))
 RETURNING georaster INTO g2;
 SDO_GEOR.REPROJECT (g1, 'resampling=CUBIC', 'blocksize=(1024, 1024, 1)
interleaving=BSQ', 4326, g2);
  UPDATE SHEBELLE_RIVER _WGS84 SET georaster=g2 WHERE georid=21;
  COMMIT;
END;
/
```

بالنسبة لطريقة أخذ العيّنات (resampling) في المثال أعلاه فهي طريقة الطي التكعيبي.

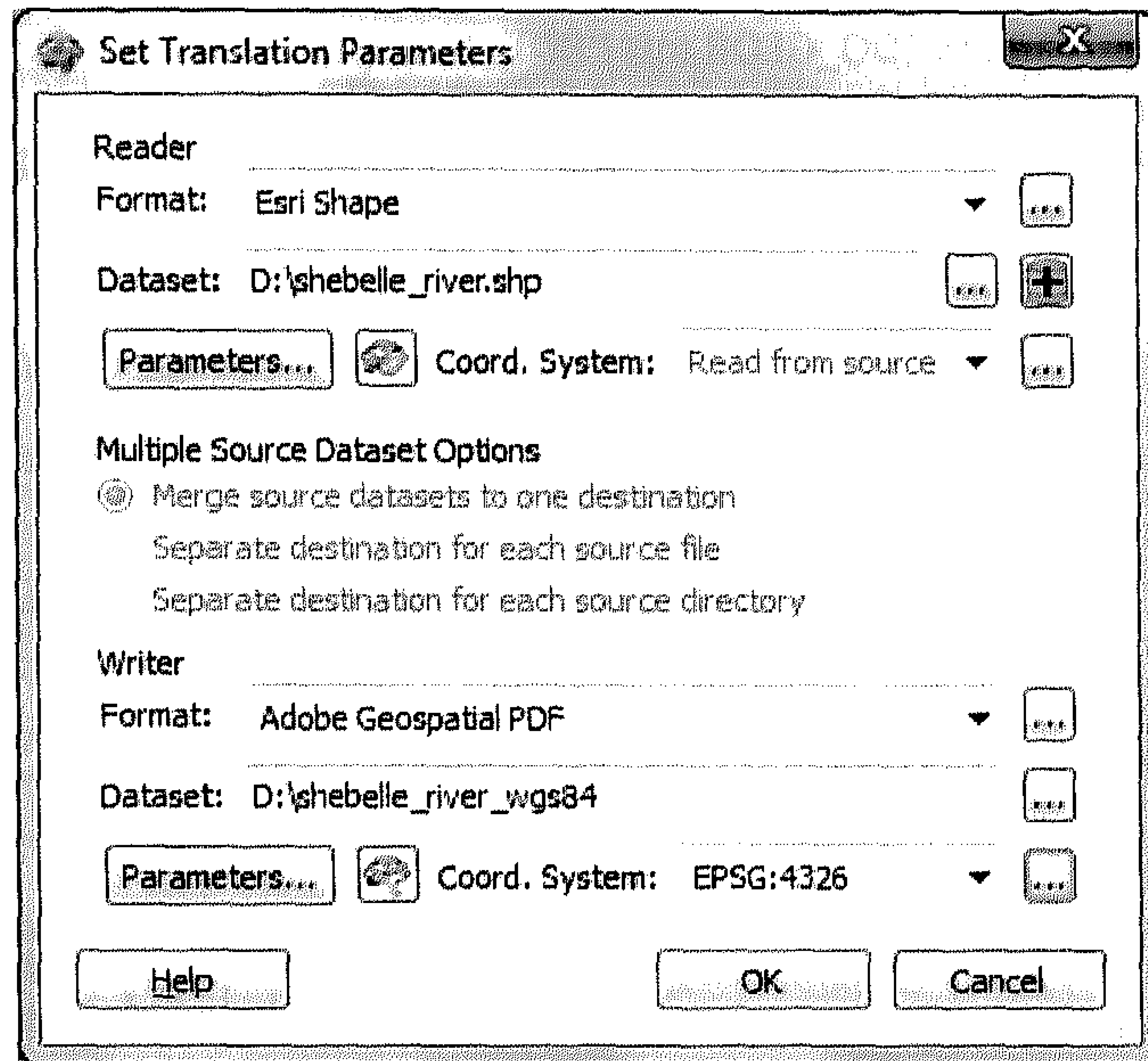


يتوفر في FME مجموعة واسعة من المحوِّلات (transformers) التي تقوم بتحويل الإحداثيات بين الأنظمة المرجعية. يبين الجدول التالي بعض هذه المحولات:

المحوِّل	الشرح
ESRIReprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة التحويلات المعرّفة في برمجيات ESRI.
Reprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة التحويلات المعرفة في FME.
CsmapReprojector	يحول البيانات المكانية من نظام إحداثيات مرجعي إلى آخر باستخدام مكتبة CS-MAP مفتوحة المصدر (open source). (انظر 2.4.1.2 المشروع الفرعي CS-Map). http://trac.osgeo.org/csmap

الجدول 5-9 محولات تحويل الإحداثيات في FME

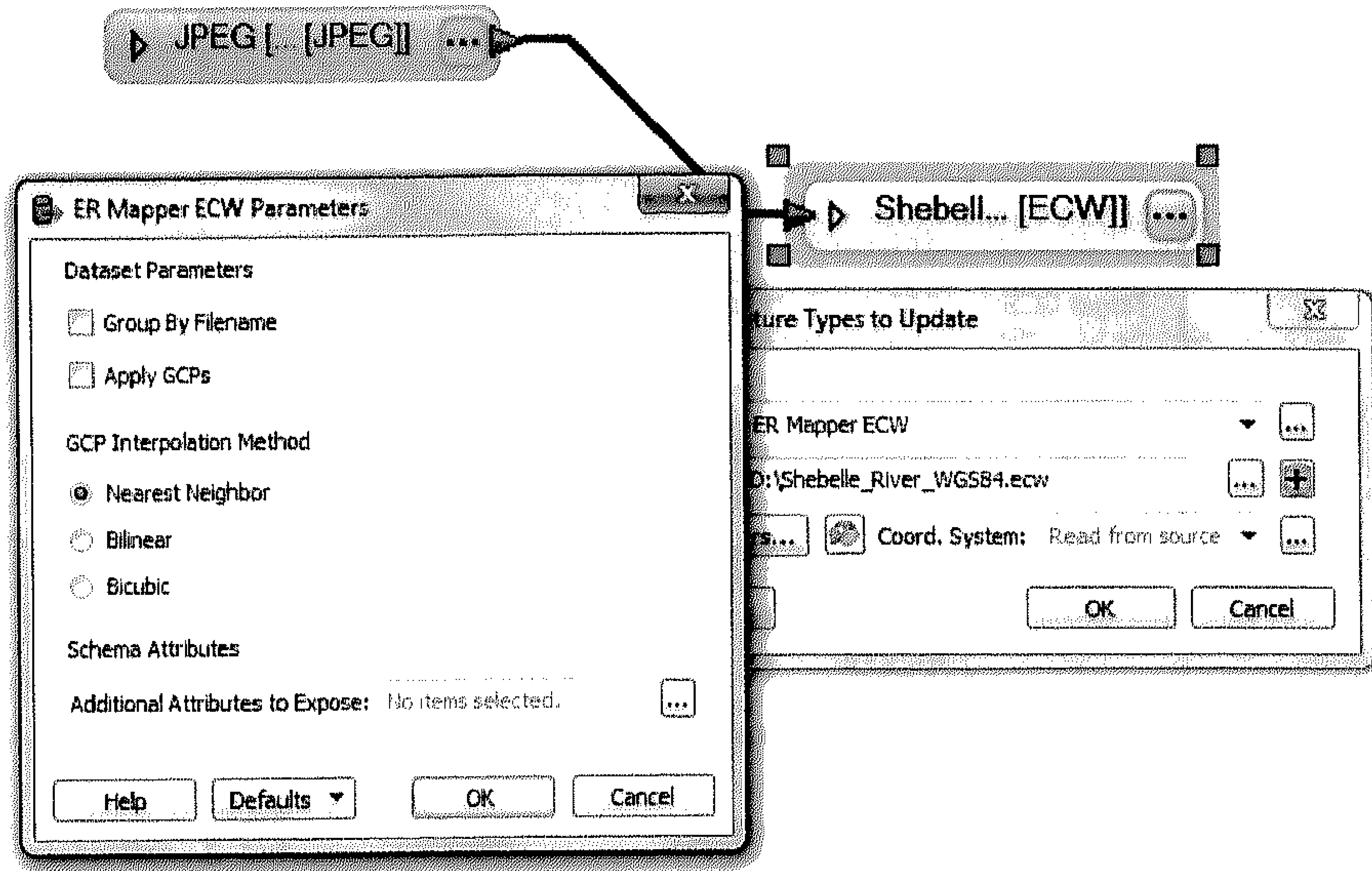
عند تحويل البيانات في برنامج FME Quick Translator أو البرنامج FME Workbench باستخدام المحوّلات Reprojector وCsmapReprojector تُستخدم طريقة التحويل المعرّفة في مكتبة البرنامج بطريقة مشابهة لعمل برنامج Autodesk Map 3D وOracle Spatial. المثال التالي يقوم بتحويل البيانات التي تمثل نهر شبيلي في هيئة SHP إلى هيئة PDF الجيومكانية بنظام الإحداثيات المرجعي WGS 84 باستخدام FME Quick Translator:



الشكل 5-17 تحويل البيانات في FME حسب الإعدادات الفطرية في البرنامج

عند تحويل البيانات في FME Workbench باستخدام المحوّل ESRIReprojector يمكن للمستخدم التحكم بطريقة ووسطاء التحويل حسب المكتبة المعرّفة في ArcGIS بطريقة مشابهة للخطوات في برنامج ArcGIS.

بالنسبة للبيانات المتسامتة يمكن باستخدام ذات البرنامج تحويل هذا النوع من البيانات بالطريقة ذاتها، ولكن ذلك لا يسمح بالتحكم بخيارات التحويل مثل تحديد طريقة أخذ العينات، ولذلك يفضل استخدام البرنامج FME Workbench. المثال التالي يبين كيفية تحويل البيانات Shebelle_River.jpg إلى صورة في هيئة ECW بنظام الإحداثيات المرجعي WGS 84 مع تحديد الجار الأقرب طريقةً لأخذ العينات أثناء تحويل الصورة:



الشكل 5-18 خيارات إسقاط البيانات المتسامتة في **FME Workbench**

5.2.2.4.2. إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية



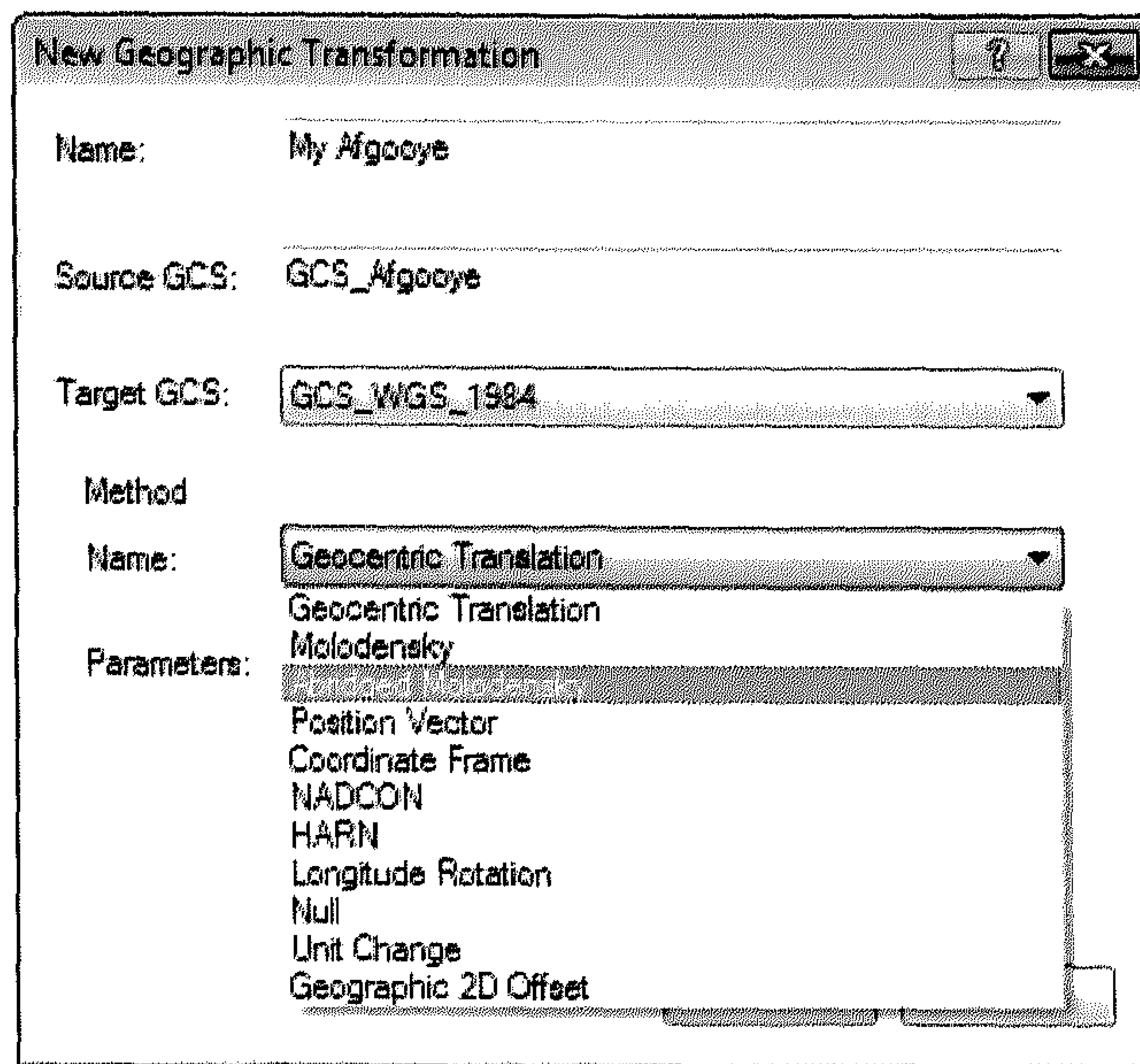
مشروع:

يراد تحويل البيانات المكانية التي تمثل نهر شبيلي في المثال السابق ولكن باستخدام طريقة Molodensky المختصرة، علماً بأن وسطاء التحويل للانتقال أرضي المركز من Afgooye إلى WGS 84 (العملية 1107 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -43\,m, \quad \Delta Y = -163\,m, \quad \Delta Z = 45\,m$$

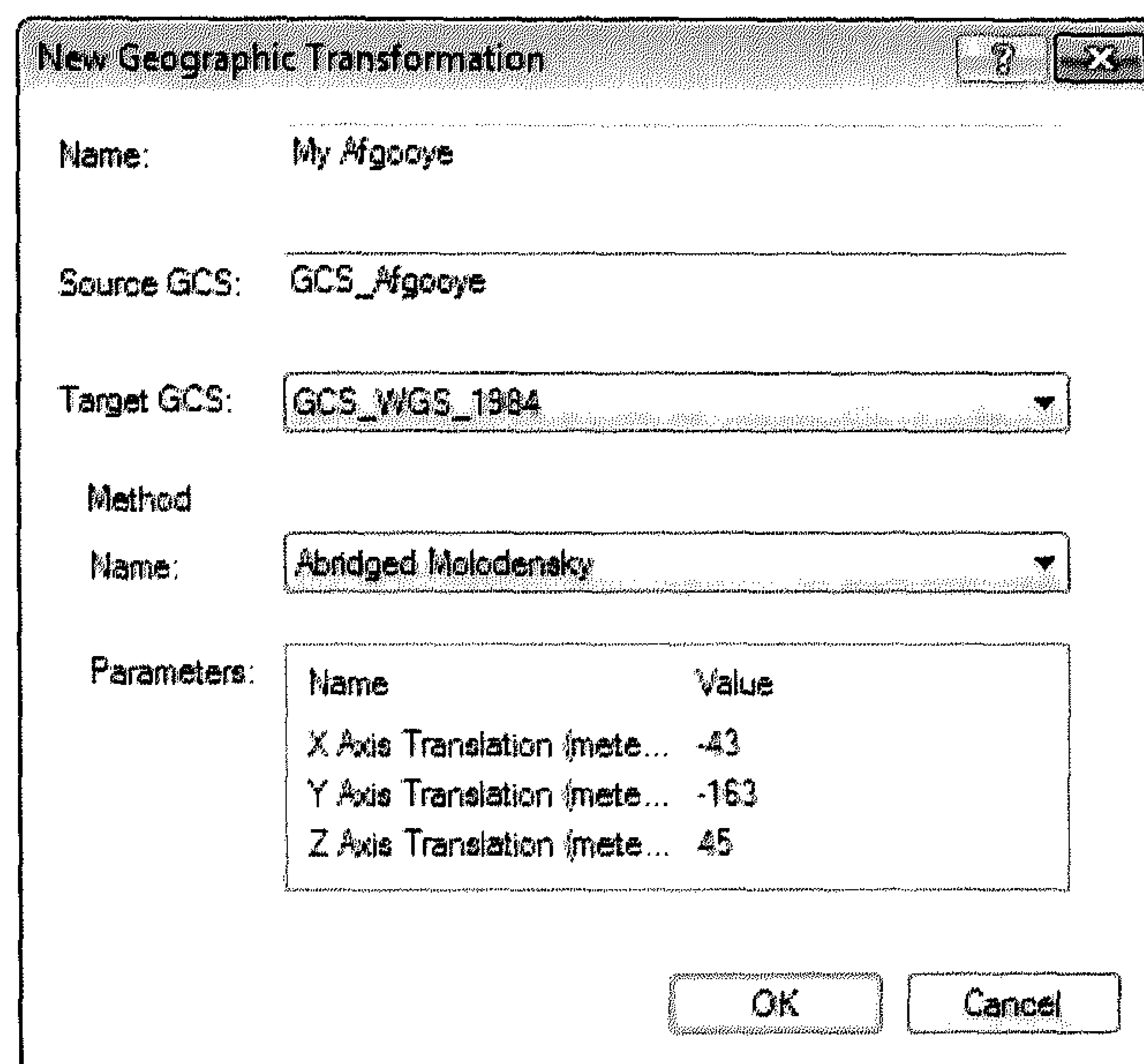
الحل:

بعد إعداد بيئة العمل في ArcMap وتحديد النظام WGS 84 من صندوق حوار إطار البيانات، نقوم بإضافة البيانات المكانية إلى جدول محتويات الخريطة فيقوم ArcGIS بعرض صندوق الحوار Geographic Coordinate Systems Warning لتنبيه المستخدم إلى أن هذه البيانات بحاجة إلى تحويل، ننقر فوق الزر Transformations ثم الزر New، ندخل اسم طريقة التحويل الجديدة كما ننتق طريقة Abridged Molodensky من القائمة المنسدلة Method Name:



الشكل 5-19 انتقاء طريقة التحويل في صندوق حوار **New Geographic Transformation**

نقوم بعد ذلك بإدخال وسطاء التحويل، وننقر فوق الزر موافق لحفظ الطريقة الجديدة.

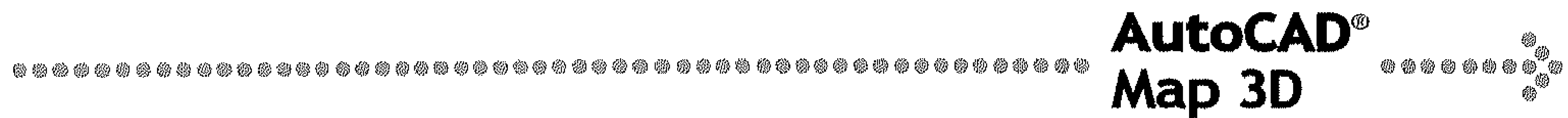


الشكل 5-20 إدخال وسطاء التحويل

نعود إلى صندوق الحوار Geographic Coordinate Systems Warning وننقر فوق الزر إغلاق. منذ الآن فصاعداً سيقوم ArcGIS بعرض الطريقة الجديدة My Afgooye بالإضافة إلى الطرق الأخرى كلما أردنا تحويل بيانات بين هذه المرجعين الجيوديسيين.

يمكن إنشاء طريقة تحويل جديدة أيضاً باستخدام الأداة Create Custom Geographic Transformation في ArcToolbox:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations



مشروع:

يراد إضافة طريقة تحويل في AutoCAD Map 3D من Afgooye إلى WGS 84 باستخدام طريقة Molodensky.

الحل:

تُعرّف طريقة تحويل جديدة في AutoCAD Map 3D باستخدام الأمر Create Geodetic Transformation Definition:

Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Create > Create Geodetic Transformation Definition
Command: MAPCSCREATE

في معالج إضافة طريقة التحويل نقوم بتحديد المرجع الجيوديسي المصدر Afgooye والهدف WGS، ونختار طريقة Molodensky (لا يدعم البرنامج الطريقة المختصرة)، ومن ثم ندخل وسطاء التحويل واسم الطريقة My Afgooye:

Create Geodetic Transformation

1. Create coordinate system
2. Create geodetic transformation
3. Select source and target datum
4. Select data conversion method
4a. Specify analytical formula values
5. Specify useful range
6. Review geodetic transformation

Review geodetic transformation

Datum

Target datum: WGS84 (World Geodetic System of 1984)
Source datum: AFGOOYE (Afgooye, Somalia)

Analytical Formula Transformation

Geocentric Translation (meters)

Delta X:	Delta Y:	Delta Z:
-43	-163	45

Axis Rotation of Arc (seconds)

X Axis:	Y Axis:	Z Axis:
0	0	0

Axis Translation (meters)

X Axis:	Y Axis:	Z Axis:
0	0	0

Scale (parts per million): 0

Useful Range

Minimum longitude:	Minimum latitude:
0	0
Maximum longitude:	Maximum latitude:
0	0

Code: My Afgooye

Description: My Afgooye

Test transformation: Test

< Back | Finish | Cancel | Help

الشكل 5-21 معالج إضافة تحويل جيوديسي جديد في AutoCAD Map 3D

للتأكد من عمل التحويل بطريقة صحيحة انقر فوق الزر Test وقم باختبار تحويل بعض الإحداثيات، وإذا كانت النتائج مناسبة انقر فوق الزر Finish لحفظ طريقة التحويل.

منذ الآن فصاعداً سيقوم ArcGIS باستخدام الطريقة الجديدة My Afgooye كلما أردنا تحويل بيانات بين هذه المرجعين الجيوديسيين بدلاً من الطريقة المتوفرة في مكتبة البرنامج.

ORACLE SPATIAL

مشروع:

يراد إضافة طريقة تحويل من Egypt 1907 إلى WGS 84 باستخدام طريقة Molodensky المختصرة حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من مصر من Egypt 1907 إلى WGS 84 (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1148 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -130\,m$$
$$\Delta Y = +110\,m$$
$$\Delta Z = -13\,m$$

الحل:

من الجدول MDSYS.SDO_COORD_OP_METHODS نجد معرّف طريقة Molodensky المختصرة 9605. نقوم بإضافة عملية على الإحداثيات إلى الجدول MDSYS.SDO_COORD_OPS:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OPS (COORD_OP_ID, COORD_OP_NAME,
COORD_OP_TYPE, SOURCE_SRID, TARGET_SRID, COORD_TFM_VERSION,
COORD_OP_VARIANT, COORD_OP_METHOD_ID, UOM_ID_SOURCE_OFFSETS,
UOM_ID_TARGET_OFFSETS, INFORMATION_SOURCE, DATA_SOURCE, SHOW_OPERATION,
IS_LEGACY, LEGACY_CODE, REVERSE_OP, IS_IMPLEMENTED_FORWARD,
IS_IMPLEMENTED_REVERSE) VALUES (999999991, 'Egypt 1907 to WGS 84 / Abridged
Molodensky', 'TRANSFORMATION', 4229, 4326, NULL, NULL, 9605, NULL, NULL, NULL,
NULL, 1, 'FALSE', NULL, 1, 1, 1);
```

من الجدول MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_USE نجد معرفات وسطاء هذه الطريقة هي:

8605: ΔX
8606: ΔY
8607: ΔZ

من الجدول MDSYS.SDO_UNITS_OF_MEASURE نجد معرّفات وحدات القياس المطلوبة لتعريف التحويل:

9001: metre

نقوم بإضافة الوسيط الأول:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999991, 9605, 8605, -130, NULL, 9001);
```

وإضافة الوسيط الثاني:

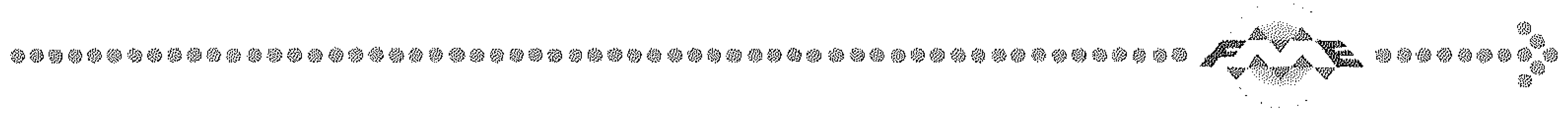
```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999991, 9605, 8606, 110, NULL, 9001);
```

والثالث:

```
SQL> INSERT INTO MDSYS.SDO_COORD_OP_PARAM_VALS (COORD_OP_ID,
COORD_OP_METHOD_ID, PARAMETER_ID, PARAMETER_VALUE,
PARAM_VALUE_FILE_REF, UOM_ID) VALUES (999999991, 9605, 8607, -13, NULL, 9001);
```

يمكن التحكم بالطريقة المفضلة للتحويل بين مرجعين جيوديسيين على مستوى النظام أو مستوى المستخدم باستخدام البرنامج الفرعي ADD_PREFERENCE_FOR_OP في حزمة SDO_CS. إذا لم تكن قيمة USE_CASE فارغة نقوم بإضافة التفضيل على مستوى المستخدم في الجدول SDO_PREFERRED_OPS_USER، وإذا كانت فارغة نقوم بإضافة التفضيل على مستوى النظام في الجدول SDO_PREFERRED_OPS_SYSTEM، ويتم استخدام طريقة التحويل المفضلة من قبل جميع مستخدمي Oracle Spatial:

```
EXECUTE SDO_CS.ADD_PREFERENCE_FOR_OP (999999991, 4229, 4326);
```



مشروع:

يراد إضافة طريقة تحويل من Egypt 1907 إلى WGS 84 باستخدام طريقة الانتقال أرضي المركز حيث وسطاء التحويل لهذه المنطقة من مصر من Egypt 1907 إلى WGS 84 (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1148 في قاعدة بيانات EPSG):

$$\Delta X = -130\,m,\ \ \Delta Y = +110\,m,\ \ \Delta Z = -13\,m$$

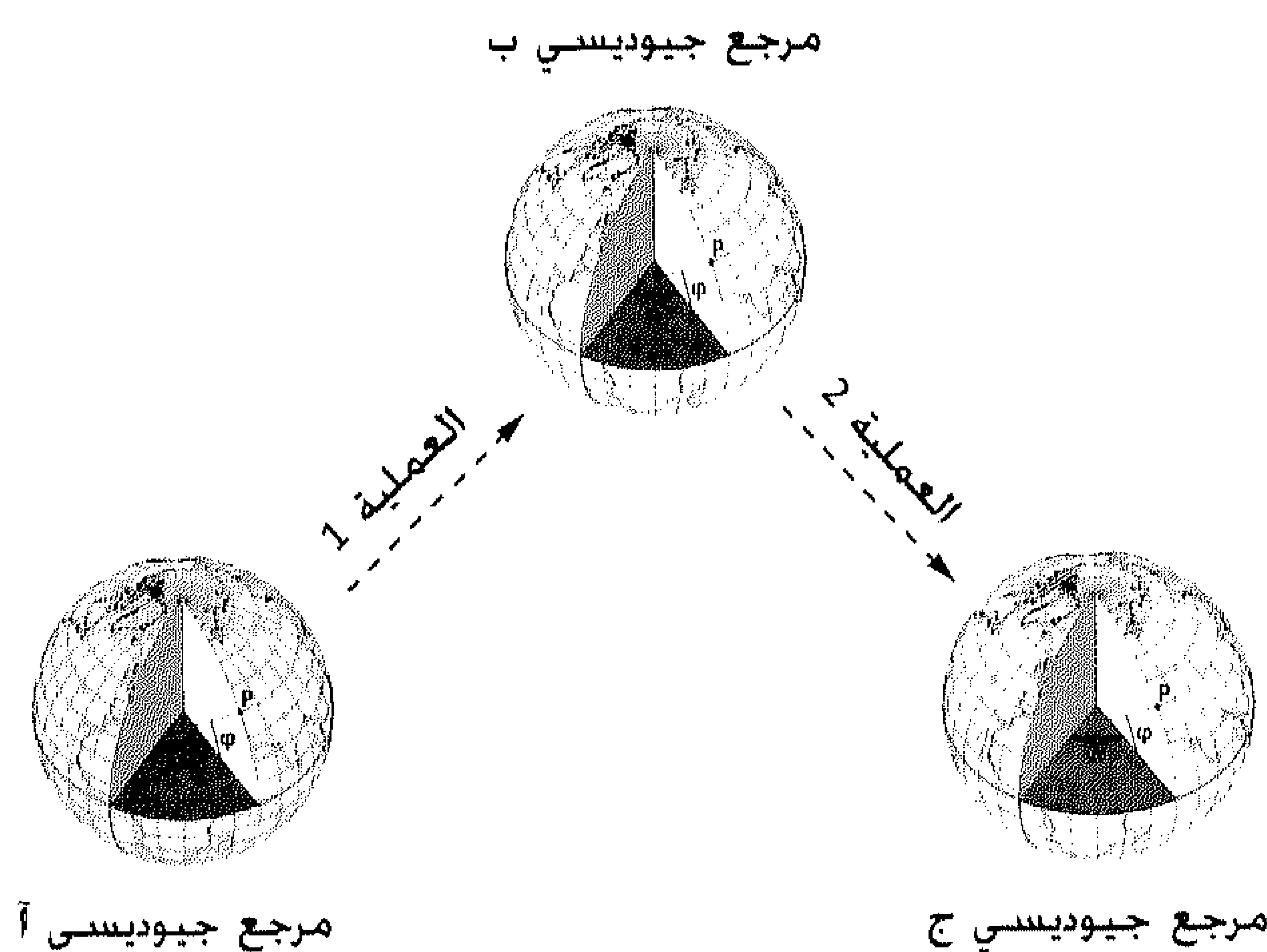
الحل:

نقوم بتعريف المرجع الجيوديسي Egypt 1907 في الملف MyCoordSysDefs.fme وذلك لتجاوز التعريف المبني في مكتبة البرنامج وبالتالي تجاوز طريقة التحويل الفطرية بين المرجعين الجيوديسيين Egypt 1907 و WGS 84:

```
DATUM_DEF OLD_EGYP \
DESC_NM "Egypt 1907" \
SOURCE "EPSG 1148" \
ELLIPSOID HLMRT06 \
USE 3PARAMETER \
DELTA_X -130.000000 \
DELTA_Y 110.000000 \
DELTA_Z -13.000000
```

5.2.2.4.3. إنشاء طريقة تحويل مُسَلسلة بين المراجع الجيوديسية

أحياناً لا يتوفر طريقة مباشرة للتحويل بين مرجعيين جيوديسيين آ و ج، ولكن يتوفر طريقة للتحويل بين آ و ب، و ب و ج. يمكن في هذه الحالة إضافة طريقة تحويل **مسلسلة** (concatenated) تضم عمليتي التحويل معاً في عملية واحدة.



الشكل 5-22 إنشاء طريقة تحويل مسلسلة من طريقتين

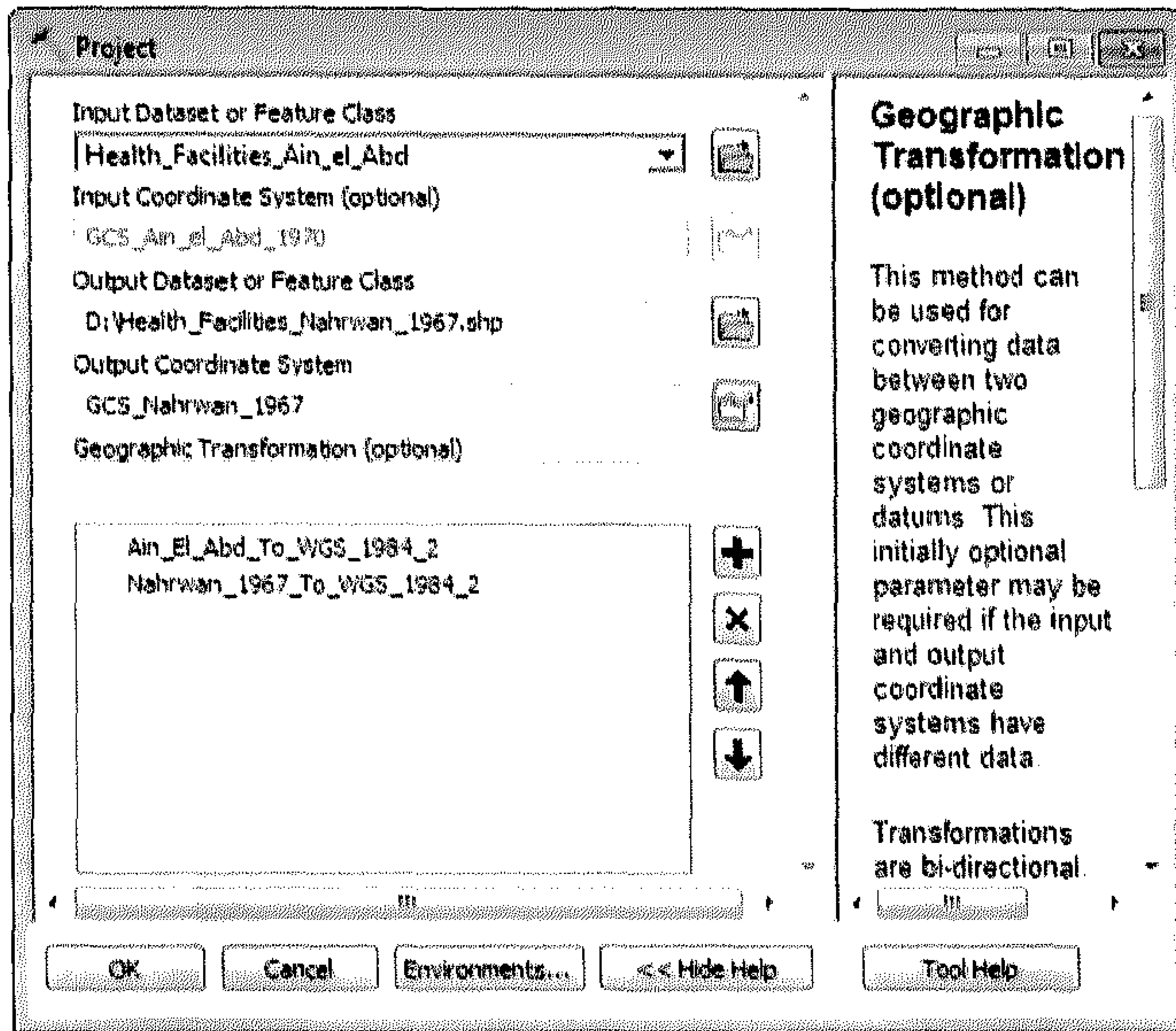
مشروع:

يراد تحويل بيانات المنشآت الصحية في مدينة جبيل في المملكة العربية السعودية ولا يوجد طريقة تحويل مباشرة من النظام المرجعي Ain el Abd (الرمز 4204) إلى Nahrwan 1967 (الرمز 4270) لاستخدامها. المطلوب إنشاء طريقة تحويل مسلسلة بالاعتماد على WGS 84 (الرمز 4326) مبنية على التحويل من Ain el Abd إلى WGS 84 (العملية 1111) ومن WGS 84 إلى Nahrwan 1967 (العملية 1190).

الحل:

 **ArcGIS**

عند تحويل البيانات في ArcGIS بين مرجعين جيوديسيين لا يتوفر بينهما طريقة تحويل مباشرة فإنه يسمح للمستخدم بإضافة أكثر من عملية تحويل بناءً على معلومات هذين المرجعين وبالطريقة التي تم شرحها في تحويل البيانات المكانية بين المراجع الجيوديسية (انظر 5.2.2.4.1 تحويل البيانات المكانية بين المراجع الجيوديسية):

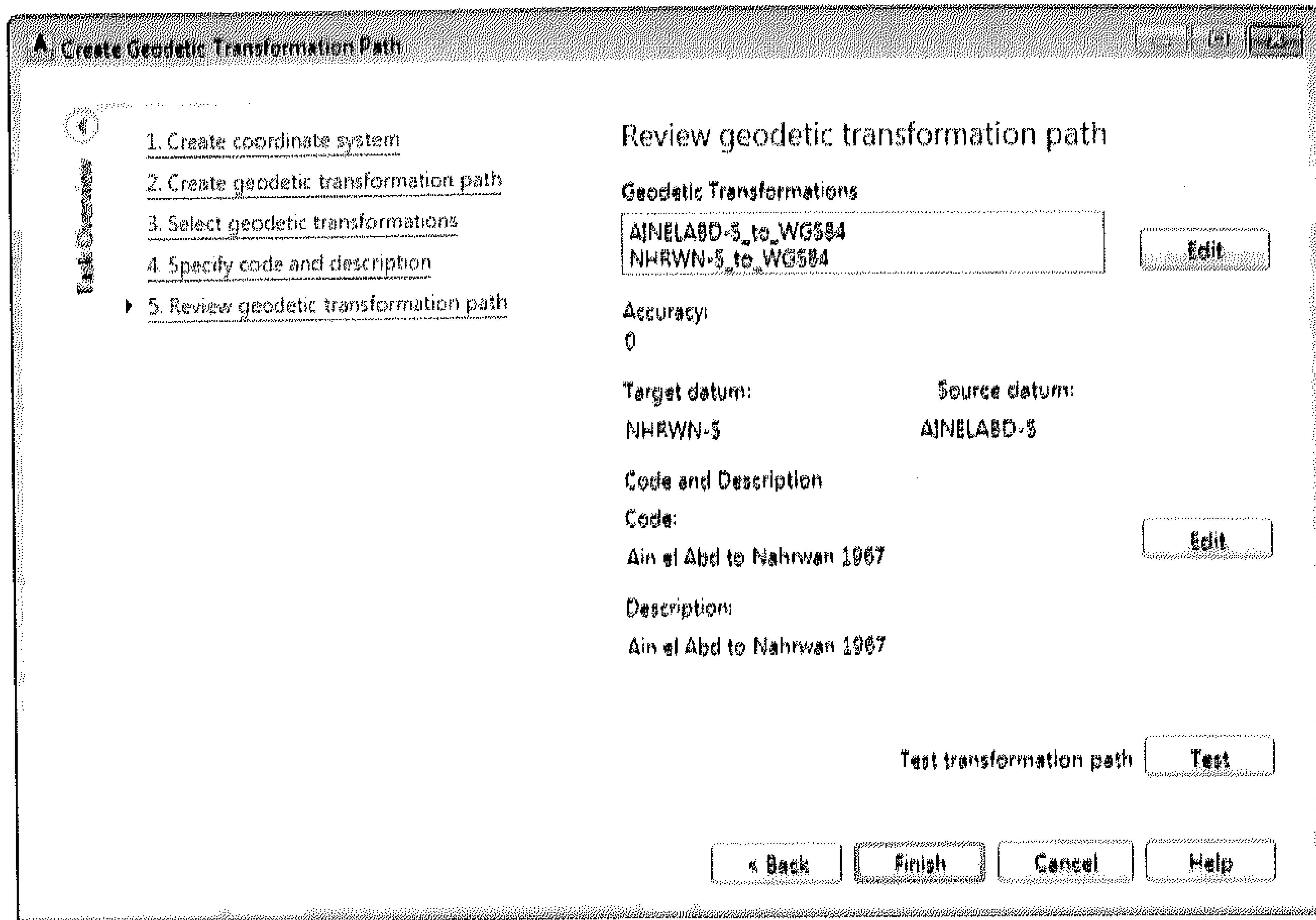


الشكل 5-23 إنشاء تحويل مسلسل في ArcGIS

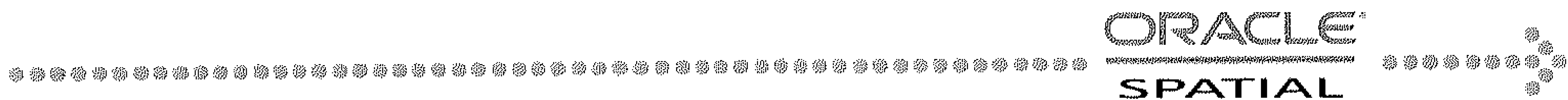
AutoCAD® Map 3D

تُعرّف طريقة تحويل جديدة في AutoCAD Map 3D باستخدام الأمر Create Geodetic Transformation Path:

Ribbon: Map Setup > Coordinate System > Create > Create Geodetic Transformation Path
Command: MAPCSCREATE



الشكل 5-24 إنشاء تحويل مسلسل في **AutoCAD Map 3D**



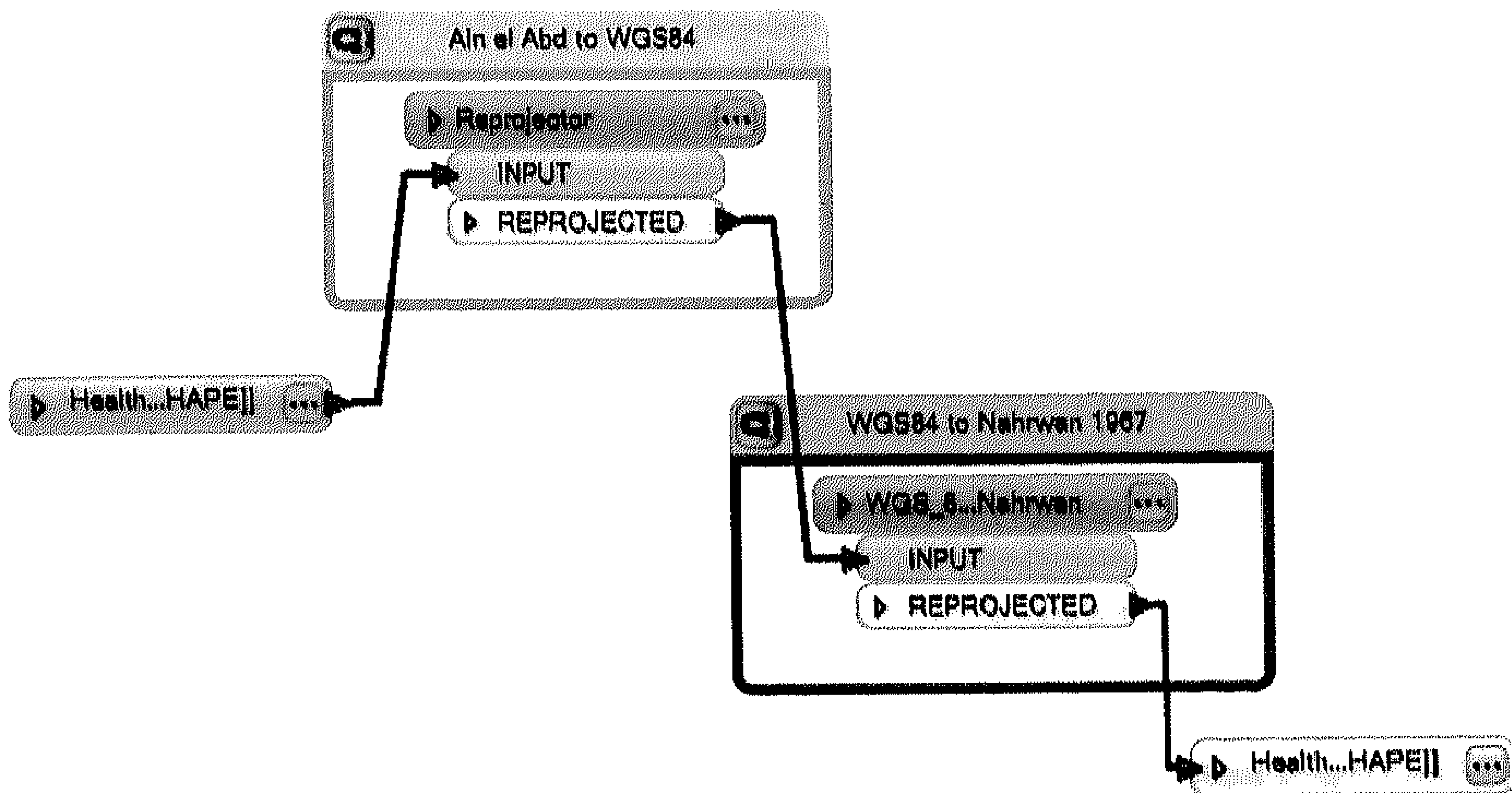
يمكن إنشاء طريقة تحويل مسلسلة في Oracle Spatial باستخدام البرنامج الفرعي CREATE_PREF_CONCATENATED_OP في حزمة SDO_CS:

```
SQL> DECLARE
BEGIN
SDO_CS.CREATE_PREF_CONCATENATED_OP (
  999,
  'AIN_EL_ABD_TO_NAHRWAN_1967',
  TFM_PLAN(SDO_TFM_CHAIN(4202, 1111, 4326, -1190, 4270)),
  NULL);
END;
/
PL/SQL procedure successfully completed.
```

لاحظ أن خطة التحويل تتألف من 5 معرّفات هي: معرف عين العبد، معرف عملية التحويل الأولى، معرف WGS 84، معرف العملية الثانية مسبوقة بإشارة (–) للدلالة على إنها العملية العكسية، ثم معرّف نهروان.

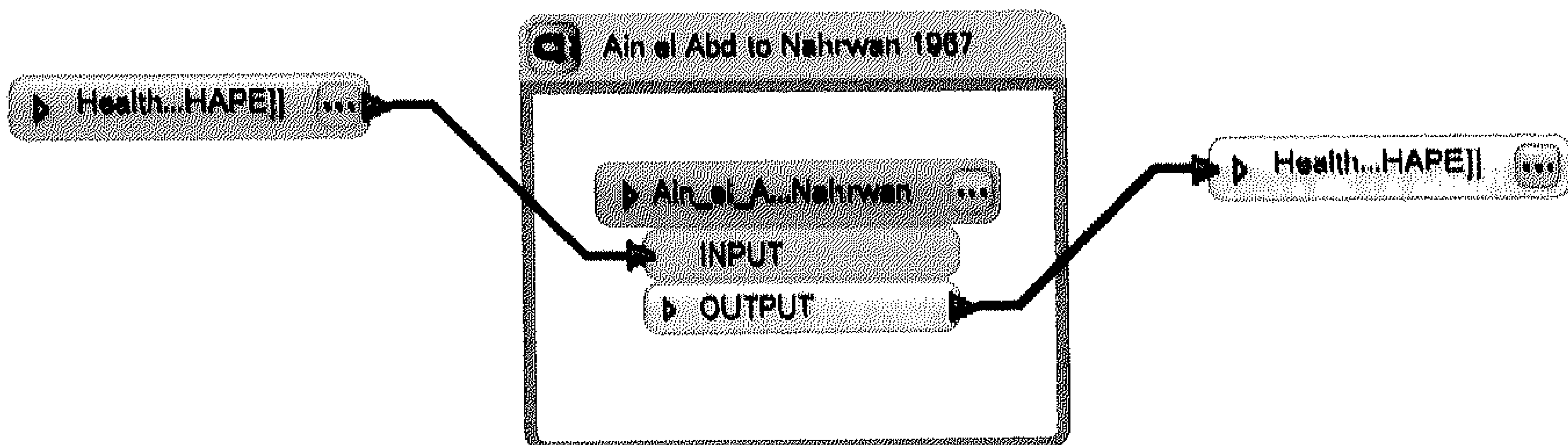


يدعم FME تسلسل العمليات بصورة ممتازة من خلال استخدام مجموعة من المحوّلات يكون ناتج كل محوّل منها دخلاً للمحوّل الذي يليه. المثال التالي يبين كيفية استخدام المحوّل Reprojector مرتين لتحويل البيانات من Ain el Abd إلى WGS 84 ومن WGS 84 إلى Nahrwan 1967:



الشكل 5-25 التحويل المُسلسل في FME

يمكن في حال الحاجة إنشاء **محوّل مخصّص** (custom transformer) من مجموعة المحوّلات هذه وحفظه في مكتبة البرنامج في FME، وبذلك يمكن استخدام التحويل المخصص بدلاً من استخدام مجموعة من عدة محوّلات:



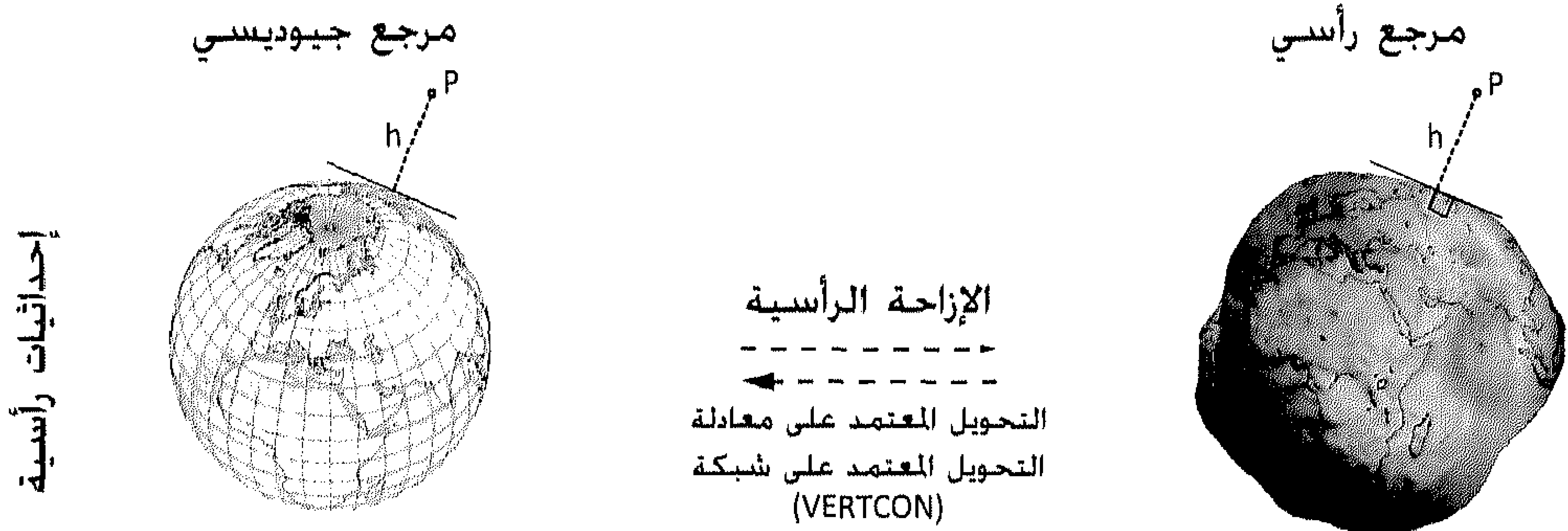
الشكل 5-26 التحويل المُسلسل في FME باستخدام محوّل مخصص

5.2.3. التحويلات في النظام المرجعي للإحداثيات الرأسية

ثمة نوعان من تحويلات الارتفاع (أو العمق)، الأولى بين الارتفاع الجيوديسي المقيس على سطح المجسّم الإهليلجي ونوع آخر من الارتفاعات معتمد على مرجع رأسي مثل سطح الجيوئيد، والنوع الثاني من هذه التحويلات يكون بين المراجع الرأسية.

5.2.3.1. بين الارتفاع الجيوديسي والارتفاع المعتمد على الجاذبية

تقع هذه من التحويلات في النوع الأول، ويكون بين الارتفاع الإهليلجي (أو العمق الإهليلجي) المقيس على سطح المجسّم الإهليلجي وبين الارتفاع المقيس على مرجع رأسي يعتمد على نموذج الجاذبية، وبصورة عامة يسمى هذا التحويل **تصحيح الارتفاع** (height correction).



الشكل 5-27 التحويل بين المراجع الرأسية

كما مر معنا، يمكن حساب الفرق بين الارتفاع الإهليلجي h والارتفاع الأورثومتري H (يسمى الارتفاع المعتمد على الجاذبية في قاعدة بيانات EPSG) بالاعتماد على تموّج الجيوئيد N بالمعادلة:

$$H = h - N$$

يتناول علم الجيوديسيا أنواعاً مختلفة من الارتفاعات المعتمدة على الجاذبية تقع خارج نطاق هذا الكتاب، ويمكن كتابة المعادلة السابقة بصورة أكثر شمولية كما يلي:

$$H = h - \zeta$$

حيث ζ قيمة التصحيح وتُستخرج باستخدام طريقة الاستنباط الداخلي من شبكة فروق الارتفاع، مثل قيم تموّج الجيوئيد.

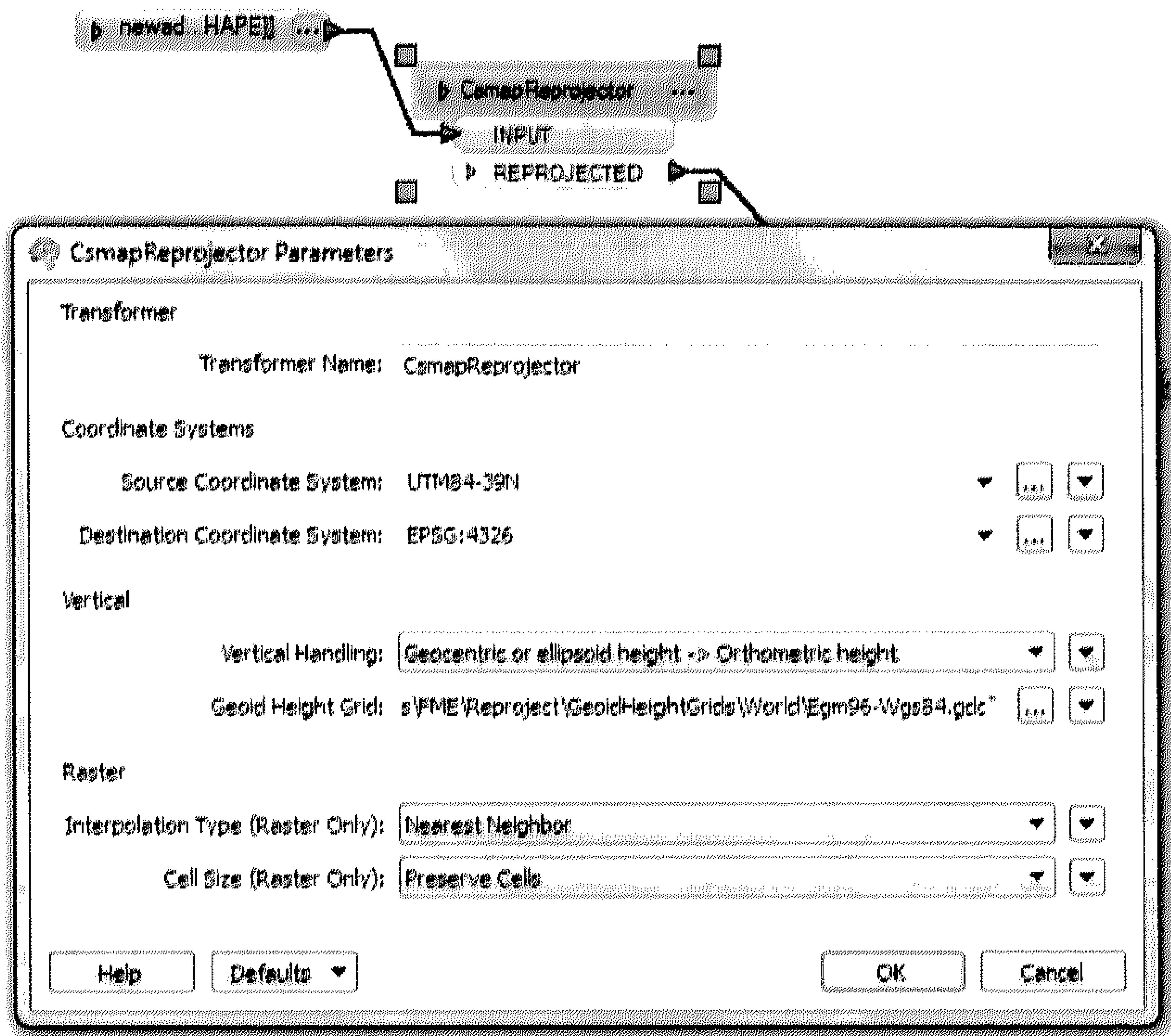


يتوفر في برنامج ArcGIS نموذج لتصحيح الارتفاعات باستخدام المعادلة أعلاه بالاعتماد على نموذج الجيوئيد EGM96 في المجلد:

C:\Program Files\ArcGIS\Desktop10.0\pedata\geoid



يمكن في FME Workbench استخدام المحوِّل CsmapReprojector للتحكم بتحويل الإحداثيات الرأسية أثناء تحويل البيانات المتجهة. المثال التالي يقوم بتحويل الارتفاع الإهليلجي إلى ارتفاع أورثومتري معتمد على نموذج الجيوئيد EGM96:



الشكل 5-28 تحويل الارتفاع الإهليلجي إلى ارتفاع أورثومتري في FME



تقدم العديد من المواقع خدمة فورية لحساب تموّج الجيوئيد لأي نقطة (φ, λ) بالاعتماد على نماذج الجيوئيد العالمية وباستخدام طرق الاستكمال الداخلي، ويطلق على هذه الخدمة **حاسبة الجيوئيد** (geoid calculator) ويمكنك العثور على العديد من هذه الخدمات على إنترنت. ومن الأمثلة على ذلك حاسبة الجيوئيد EGM96 التي توفرها وكالة الاستخبارات الجيومكانية الوطنية (NGA) على موقعها:

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/intpt.html

مشروع:

يراد تحويل الارتفاع الإهليلجي h المقيس على نظام تحديد المواقع العالمي لنقطة في واحة ليوا (Liwa Oasis) في المنطقة الغربية بدولة الإمارات العربية المتحدة إلى ارتفاع معتمد على الجاذبية H وتحديداً سطح الجيوئيد EGM96. علماً بأن إحداثيات النقطة (φ, λ, h) في WGS 84:

$$\varphi = 23°8'2.34"N$$
$$\lambda = 53°47'55.55"E$$
$$h = 106.82\ m$$

الحل:

نجد تموّج الجيوئيد في النقطة المذكورة 33.18- م باستخدام حاسبة الجيوئيد المتوفرة في موقع NGA مثلاً، أي إن الجيوئيد يقع تحت سطح المجسّم الإهليلجي، ومن العلاقة السابقة:

$$H = 106.82 - (-33.18) = 140\ m$$

.5.2.3.2 الإزاحة الرأسية

تستخدم الإزاحة الرأسية (vertical offset) للتحويل بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الرأسية، بما في ذلك قياسات الارتفاع والعمق.

.5.2.3.2.1 الإزاحة الرأسية المعتمدة على معادلة

تتم الإزاحة الرأسية المعتمدة على معادلة بإضافة **وسيط تصحيح** (correction parameter) إلى قيمة الإحداثيات في النظام المرجعي المصدر باستخدام المعادلة العامة التالية:

$$X_2 = \frac{m\,(X_1 \times U_1) + \ (A_{1>2} \times U_A)}{U_2}$$

حيث:

X_1: قيمة الإحداثيات في النظام المرجعي المصدر

X_2: قيمة الإحداثيات في النظام المرجعي الهدف

m: ثابت يستخدم لتمثيل التغير في اتجاه قياس الإحداثيات الرأسية، ويساوي 1+ إذا كانت القياسات على كلا النظامين المرجعين في اتجاه واحد، أي تحويل ارتفاع إلى ارتفاع أو تحويل عمق إلى عمق، ويساوي 1- في الحالات الأخرى.

$A_{1>2}$: قيمة الإزاحة للتحويل من النظام المرجعي الأول إلى الثاني.

U_1 وU_2 وU_A: نسب التحويل بين وحدات القياس المستخدمة في النظامين المرجعيين الأول والثاني والإزاحة على التوالي.

للتحويل العكسي من النظام المرجعي الثاني إلى الأول تصبح المعادلة كما يلي:

$$X_1 = \frac{m\left((X_2 \times U_1) + (-A_{1>2} \times U_A)\right)}{U_2}$$

مشروع:

يراد تحويل ارتفاع نقطة ويبلغ 2.55 م في نظام KOC CD Height المبني على الجاذبية إلى نظام KOC WD Depth وهما نظامين مستخدمين في شركة نفط الكويت، علماً بأن وحدة القياس في النظام الأول هي المتر وفي النظام الثاني القدم، وأن قيمة الإزاحة:

$$A_{1>2} = 15.55\, ft$$

الحل:

نظراً للاختلاف في اتجاهي المحورين في النظامين:

$$m = -1$$

وبما إن وحدات القياس مختلفة أيضاً:

$$U_A = \frac{0.3048}{1}, U_1 = \frac{1}{1}, U_2 = \frac{0.3048}{1}$$

إذاً:

$$X_2 = \frac{-1\ (2.55 \times 1) + \ (15.55 \times 0.3048)}{0.3048} = 7.18\,ft$$

5.2.3.2.2. الإزاحة الرأسية المعتمدة على شبكة

كما مر معنا سابقاً في التحويل **المعتمد على شبكة** (grid-based) تُقسم المنطقة المراد تحويلها إلى شبكة من الخلايا (cells) ثم يصار إلى تسجيل الفروق بين الإحداثيات المنسوبة إلى النظامين المرجعيين في كل خلية، وتكرار تسجيل هذه الفروق ضمن الخلية الواحدة عدة مرات على مسافات متساوية، ومن ثم إنشاء نموذج بهذه الفروق في صورة معادلة رياضية، وبدلاً من الوسطاء يتطلب التحويل المعتمد على الشبكة ملفاً (قاعدة بيانات) توفرها الجهة المختصة.

يتم تحويل إحداثيات أي نقطة من مجسّم إلى آخر بالاعتماد على نموذج الفروق وباستخدام طريقة **الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية** (bi-linear interpolation).

تهدف الإزاحة الرأسية المعتمدة على شبكة إلى تسجيل فروق الإحداثيات الرأسية المنسوبة إلى المرجعين الرأسيين في كل خلية. ولكي يكون لهذه الفروق معنى يجب تسجيل الفروق بين الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد (فروق خط الطول، فروق دائرة العرض) أيضاً وذلك لأغراض الإسناد المكاني لفروق الإحداثيات الرأسية فقط. ومن هذه التحويلات:

- VERTCON: يرمز لهذه الطريقة في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9658 على الإحداثيات. تستخدم VERTCON في هيئة المساحة الجيوديسية الوطنية الأمريكية للتحويل بين نظامي الارتفاعات NGVD29 و NAVD88 المعتمدين على الجاذبية.

بعد إيجاد قيمة الفرق في الإحداثي الرأسي للنقطة المطلوبة بين المرجعين الرأسيين باستخدام الاستكمال الداخلي يتم إيجاد قيمة الإحداثي الرأسي للنقطة في النظام المرجعي الهدف باستخدام طريقة الإزاحة الرأسية المعتمدة على معادلة (انظر 5.2.3.1 الإزاحة الرأسية المعتمدة على معادلة).

AutoCAD® Map 3D

ملفات VERTCON متوفرة في AutoCAD Map 3D في المجلد:

C:\ProgramData\Autodesk\Geospatial Coordinate Systems 2013\Usa\Nadcon

ORACLE® SPATIAL

يمكن إنشاء طريقة تحويل جديدة في Oracle Spatial بالاعتماد على شبكة بين مرجعين رأسيين بذات الطريقة التي سبق شرحها في التحويل بين مرجعين جيوديسيين (انظر 5.2.2.4.2 إنشاء طريقة تحويل جديدة بين المراجع الجيوديسية) ويكون ذلك بإضافة عملية جديدة على الإحداثيات إلى الجدول MDSYS.SDO_COORD_OPS، وإدراج سجل جديد في الجدول SDD_COORD_PARAM_VALS يشير إلى معرّف العملية الجديدة في الحقل COORD_OP_ID، ثم إدخال اسم الملف في الحقل PARAM_VALUE_FILE_REF وإدراج محتويات الملف النصي الذي يمثل الفروق بين الارتفاعات في الحقل PARAM_VALUE_FILE.



ملفات VERTCON متوفرة في FME في المجلد:

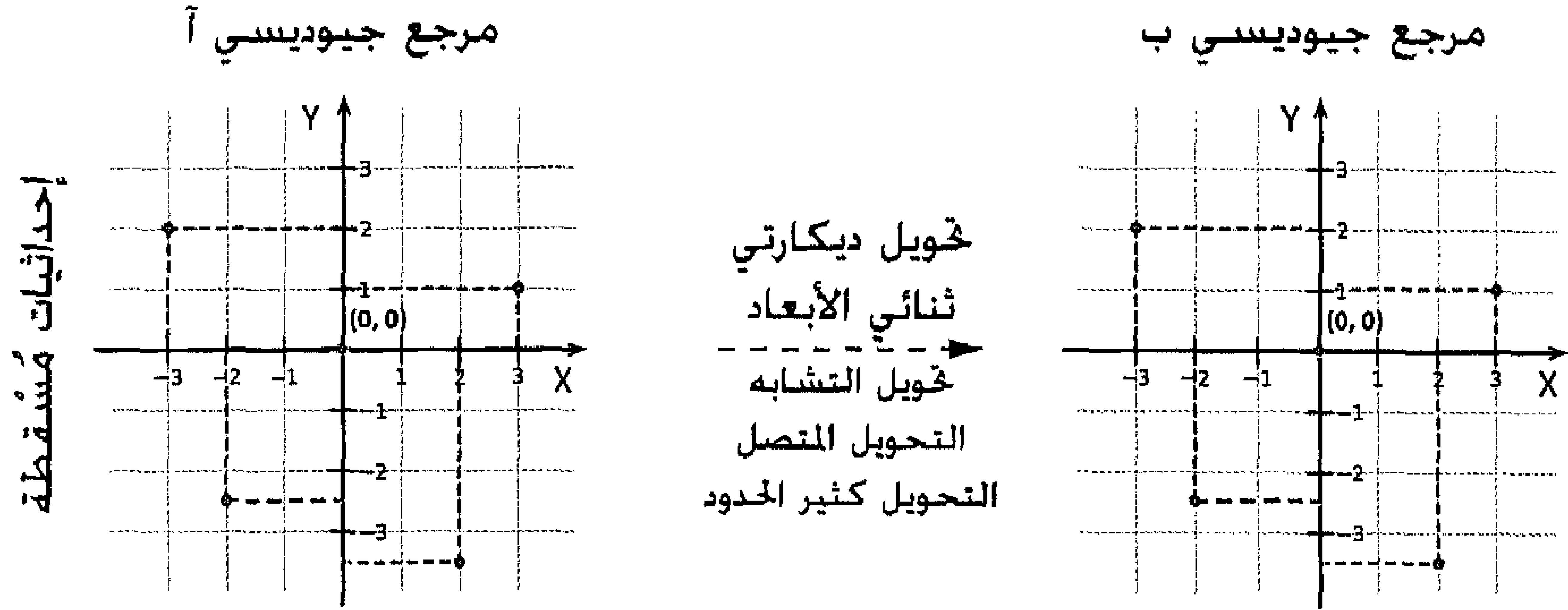
C:\Program Files\FME\Reproject\GridData\Vertcon

5.3. عمليات أخرى على الإحداثيات

بالإضافة إلى العمليات السابقة تتوفر مجموعة أخرى من العمليات يمكن استخدامها لتنفيذ مهام مختلفة:

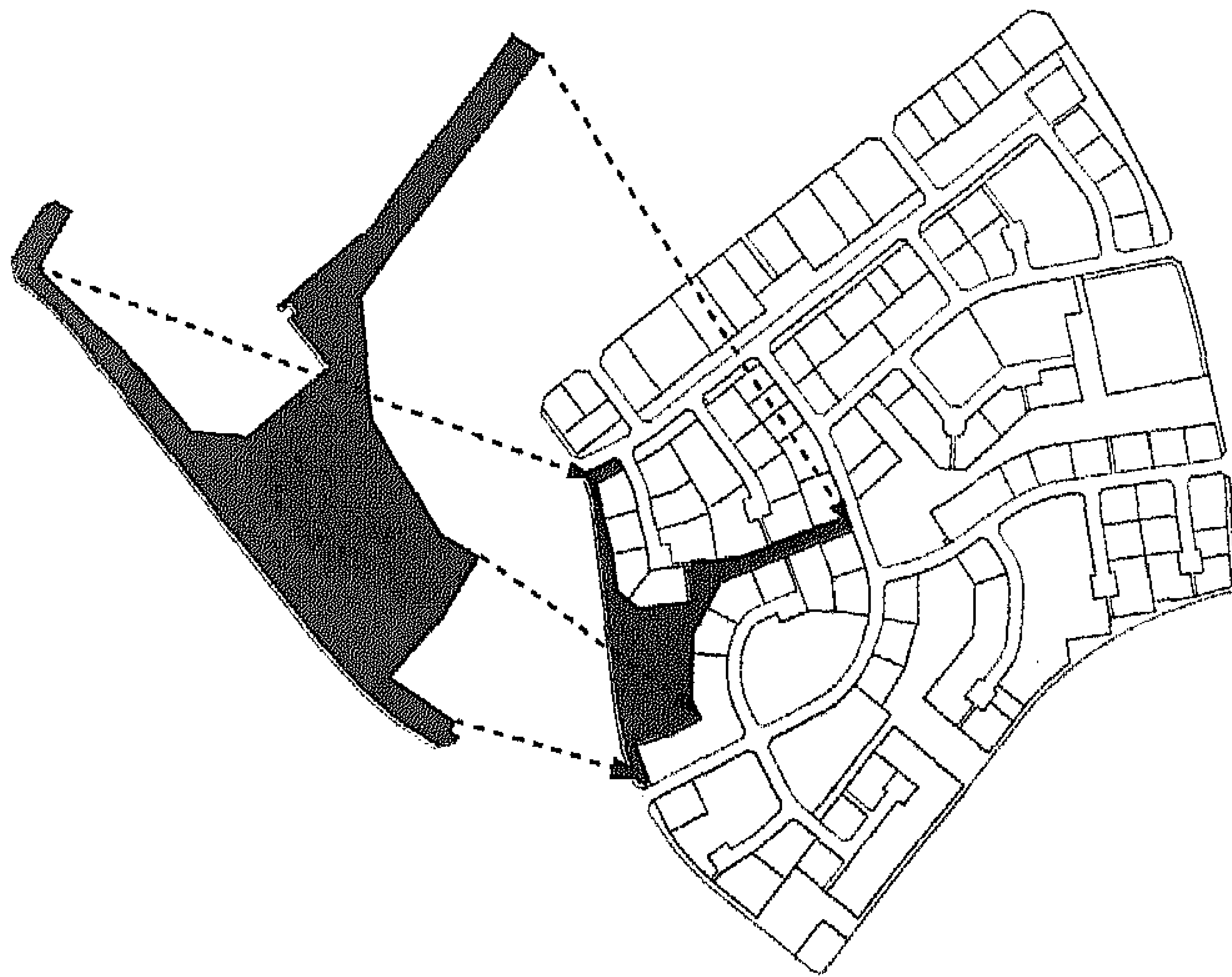
- تحويل الإحداثيات بين نظامين مرجعيين للإحداثيات المُسْقَطة يعتمدان المرجع الجيوديسي ذاته أو مرجعين جيوديسيين مختلفين.
- التحويل بين الإحداثيات الجغرافية ثنائية الأبعاد.
- **الإسناد الجغرافي** (georeferencing) للصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية والصور الممسوحة (scanned)، ويعني ذلك مواءمة (alignment) هذه البيانات المتسامتة مع بيانات مكانية أخرى.

- تصحيح الإحداثيات المقيسة على مرقّم (digitizer) من خريطة مطبوعة.
- تخفيف التشوهات التي تعاني منها الخرائط المطبوعة، وبخاصة القديمة منها.
- مواءمة البيانات المكانية المتجهة التي تعاني من تشوهات.

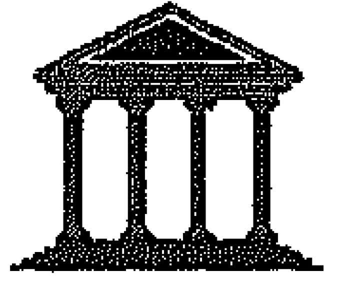


الشكل 5-29 عمليات أخرى على الإحداثيات

تُنفّذ هذه التحويلات بتعريف مجموعة من أزواج **نقاط التحكم** (control points)، يتألف كل زوج منها من نقطة تحكم أولى في النظام المرجعي المصدر أو البيانات المراد تحويلها ومن نقطة تحكم ثانية مقابلة لها في النظام المرجعي الهدف، حيث تمثل أزواج نقاط التحكم مقدار التحويل المطلوب، حسب نوع التحويل.



الشكل 5-30 تعريف نقاط التحكم في مواءمة بيانات مكانية مع بيانات مكانية أخرى

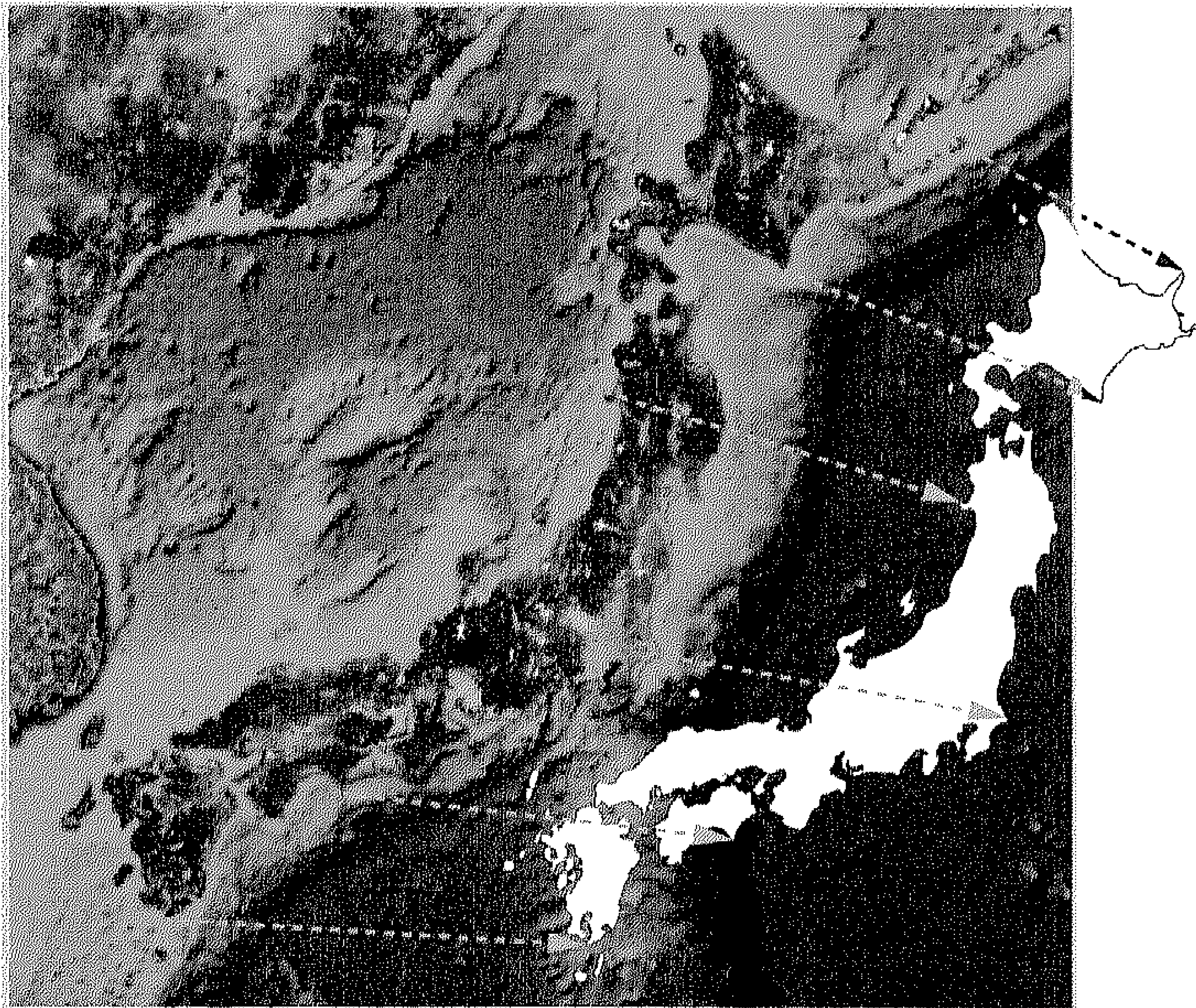


تعاني بعض البيانات المكانية من أخطاء في الدقة وانخفاض في الجودة لأسباب مختلفة، ويمكن أن تتراكم هذه المشكلة وتتطور إلى مشكلة ثانية عندما تستخدم لإنشاء بيانات أخرى منها أو في محاذاتها، مثل رسم خطوط الخدمات بالاعتماد على بيانات المباني أو الطرق. وعندما يتم إصلاح البيانات الأصلية أو جمعها من جديد بدقة مرتفعة يظهر التضارب بين البيانات: تمر خطوط الخدمات فوق المباني، ولا تنطبق بيانات الطرق مع بيانات التخطيط العمراني، الخ.

ستواجهك في حياتك العملية عدة تحديات تتعلق بمواءمة البيانات، وربما ستكون مسؤولاً عن أحد مشروعات مواءمة البيانات بين الجهة التي تعمل فيها وجهة أخرى.

تسمى أزواج نقاط التحكم بأسماء مختلفة، فهي وصلات الانزياح في ArcGIS ومتّجهات التحكم في FME.

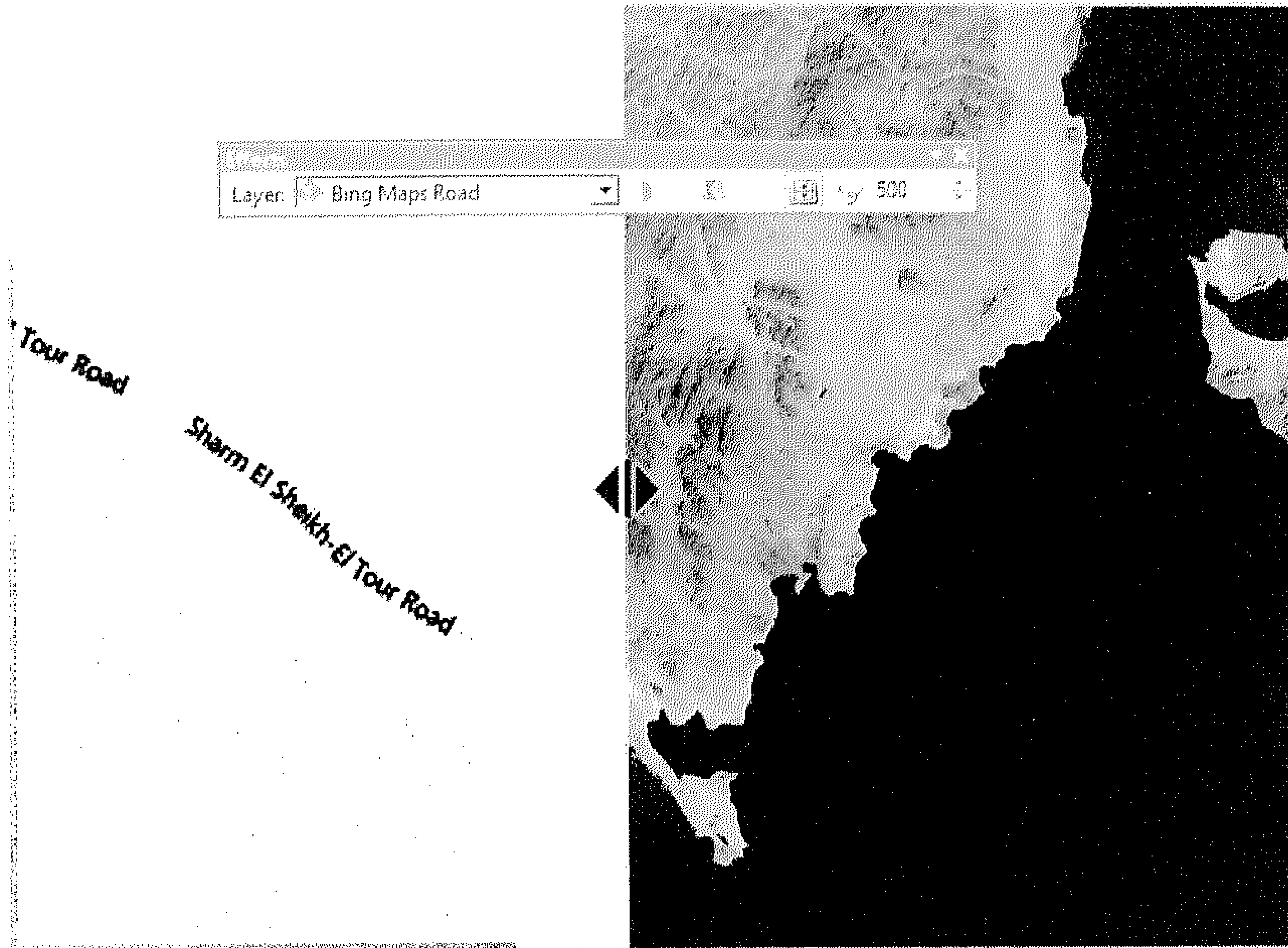
بصورة عامة، ينصح بانتقاء نقاط تحكم واقعة في الأطراف الأربعة للصورة الجوية أو مجموعة البيانات، ثم انتقاء نقاط تحكم أخرى موزعة داخل الصورة أو البيانات، وذلك للحصول على أفضل النتائج.



الشكل 5-31 مواءمة صورة قمر اصطناعي مع بيانات مكانية



ثمة أداة في شريط الأدوات Effects في ArcGIS ذات فائدة للمستخدم أثناء انتقاء أزواج نقاط التحكم هي الأداة Swipe Layer والتي يمكن باستخدامها إخفاء جزء من البيانات بحيث يمكن رؤية ما تحتها من بيانات أخرى. المثال التالي يبين طريقة استخدام هذه الأداة:



الشكل 5-32 الأداة Swipe Layer في ArcGIS Layer



يتوفر في شريط الأدوات Georeferencing في النسخة 10.1 من ArcGIS الأداة Auto Registration التي تسمح بمطابقة صورتين تلقائياً بالاعتماد على **التوقيع الطيفي** (spectral signature)، ولذلك تعمل هذه الأداة على الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية فقط. يقوم المستخدم بمطابقة الصورة المطلوب إسنادها جغرافياً يدوياً مع الصورة التي يستخدمها مرجعاً، وللوصول إلى نتائج صحيحة يجب أن يكون لكلا الصورتين خصائص متقاربة مثل تاريخ الالتقاط وتشابه الطقس ومقياس الصورة وتوجيهها الخ.

تعكس الأداة Auto Registration في ArcGIS ما تسعى الأبحاث النظرية الحديثة في التقنيات المكانية إلى تحقيقه من توليد طرق لمطابقة البيانات المكانية المتجهة والمتسامتة تلقائياً، لكن هذه الأبحاث لم تنضج بعد بحيث تصبح أدوات متوفرة.

5.3.1. انتقاء نقاط التحكم وتقييم دقة التحويل

لا تعاني البيانات المتجهة (vector) من صعوبات في انتقاء نقاط التحكم كما تعاني البيانات المتسامتة (raster) مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية، نظراً لطبيعة البيانات المتجهة التي يمكن **الوثب** (snap) إلى النقاط المميزة فيها مثل التقاطعات وأطراف الخطوط تلقائياً.

معظم الصور التي يتعامل معها المستخدم هي صور مصحّحة، وتستخدم الشركات مجموعة من العلامات الأرضية المعدّة سابقاً أثناء التصوير، منها علامات متوفرة وأخرى اصطناعية تُنشأ خصيصاً لمشروع التصوير الجوي في المناطق الواسعة التي لا تتوفر فيها معالم يمكن استخدامها كعلامات تحكم.

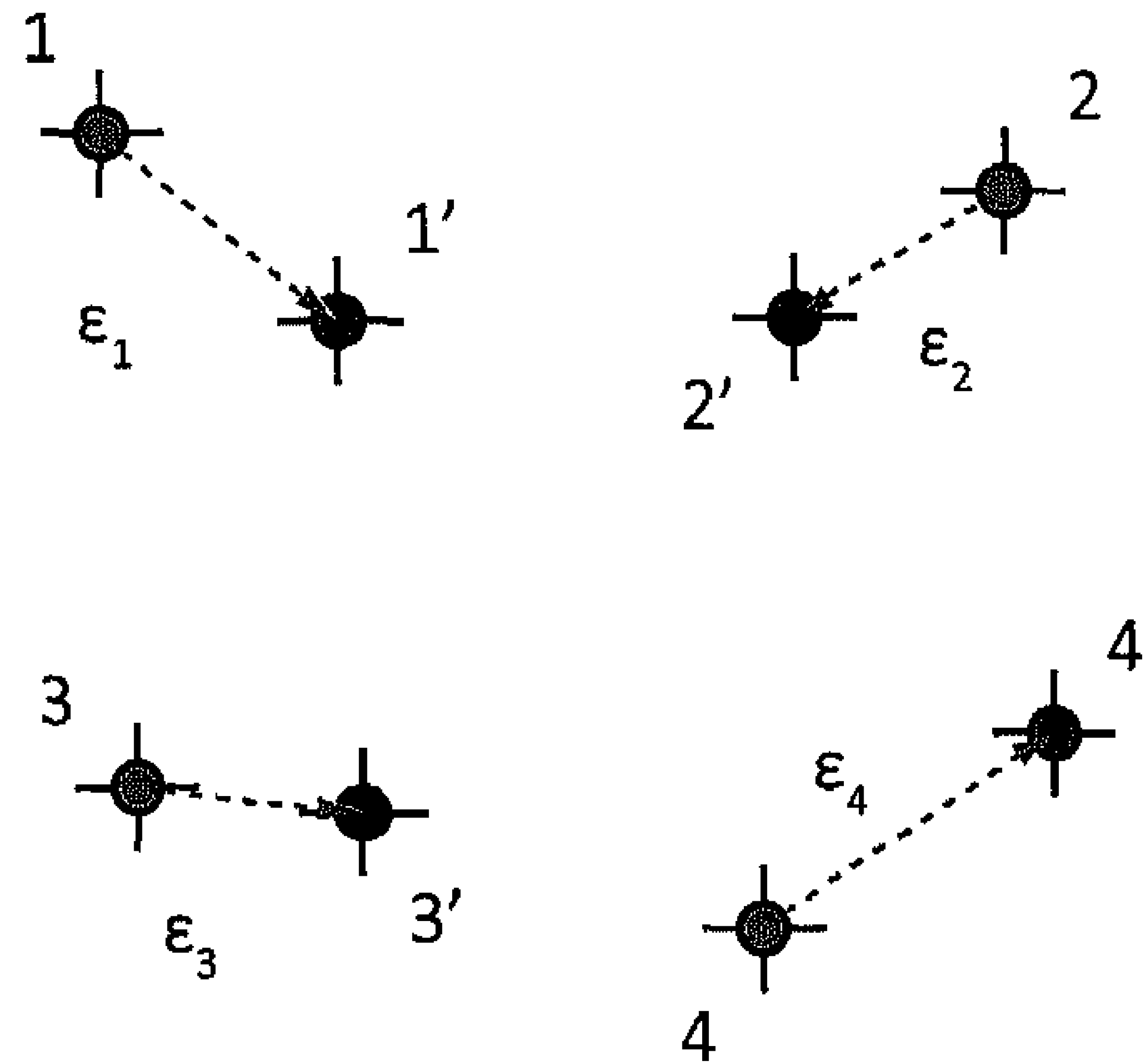
بالنسبة إلى المستخدم العادي يمكنه عند إسناد البيانات المتسامتة جغرافياً أو تحويلها انتقاء نقاط التحكم كما يلي (انظر 2.5 المواصفات القياسية الوطنية):

- انتقاء نقاط التحكم موزعة بصورة مناسبة في الصورة.
- انتقاء نقاط تحكم في أطراف الصورة.
- يجب ألا تكون نقاط التحكم واقعة على خط واحد.
- انتقاء عدد أقل من نقاط التحكم وبدقة عالية أفضل من انتقاء عدد كبير منها بدقة منخفضة.
- يجب أن تكون نقاط التحكم معالم ظاهرة يمكن تمييزها بوضوح في الصورة، مثل تقاطعات الطرق، النتوءات الصخرية، والمعالم المميزة على الشواطئ.
- في الصور غير المصحّحة عمودياً يجب اختيار أزواج نقاط التحكم بحيث تكون واقعة في مستو واحد.

بعض البرمجيات تسمح بتصدير نقاط التحكم التي يعرفها المستخدم إلى ملف نصي كذلك لاستخدامها في المستقبل دون الحاجة إلى تعريفها من جديد. المثال التالي يوضح ملفاً نصياً تم فيه تخزين ستة أزواج من نقاط التحكم وإحداثياتها قبل وبعد التحويل:

X Source Y Source X Destination   Y Destination
185.786004476.232686125.972419-281.101743
1644.8606712009.242995-2279.1896241940.866140-
634.193115-1405.571836-232.343222-1929.047162-
2332.266003235.806142-2308.737070121.545538
812.502117740.444528-1008.649478753.058841-
981.648288-1260.4497211239.119551-1397.193148

يمكن استنتاج التحويل من معرفة إحداثيات نقاط التحكم في النظامين المرجعيين المصدر والهدف حسب نوع التحويل، بحيث تكون المواءمة أفضل ما يمكن بين نقاط التحكم في النظامين المرجعيين المصدر والهدف. مع ذلك، فإن نقاط تحكم المصدر لن تتطابق دائماً مع نقاط تحكم الهدف مطابقة تامة.



الشكل 5-33 الأخطاء المتبقية ε بين نقاط تحكم المصدر والهدف

تسمى هذه الفروق **الأخطاء المتبقية** (residuals or residual errors) وهي تمثل مقدار الفرق ε بين إحداثيات نقاط تحكم المصدر بعد التحويل وإحداثياتها المفترضة بعد التحويل.

ويمكن من معرفة الأخطاء المتبقية إيجاد دقة التحويل بحساب **الخطأ متوسط التربيع** (root-mean-square error: RMSE) كما يلي (انظر 2.5 المواصفات القياسية الوطنية):

$$RMSE = \sqrt{\frac{{\varepsilon_1}^2 + {\varepsilon_2}^2 + \cdots + {\varepsilon_n}^2}{n}}$$

حيث ε الخطأ المتبقي بعد التحويل و n عدد أزواج نقاط التحكم.

بصورة عامة يجب انتقاء أزواج نقاط التحكم بحيث تكون قيمة RMSE أصغر ما يمكن. لذلك توفر البرمجيات تقريراً بقيمة RMSE قبل تنفيذ التحويل، وتوفر أيضاً معلومات الخطأ المتبقي لكل زوج من أزواج نقاط التحكم. تساعد هذه المعلومات على حذف أزواج نقاط التحكم التي تتسبب بقيمة مرتفعة للخطأ المتبقي، كما تساعد معرفتنا بقيمة RMSE على اتخاذ القرار بالاستمرار بعملية التحويل أو إعادة تعريف أزواج نقاط التحكم. عند تنفيذ الإسناد الجغرافي لصورة جوية، مثلاً، يجب انتقاء نقاط التحكم بحيث تكون قيمة RMSE مساوية أو أقل من حجم البكسل الواحد.

 ArcGIS

يمكن في ArcGIS حذف وصلات الانزياح (أزواج نقاط التحكم) والتحقق من معلومات الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع في شريطي الأدوات Spatial Adjustment و Georeferencing بالنقر فوق View Link Table في شريط الأدوات.

Link Table

ID	X Source	Y Source	X Destination	Y Destination	Residual Error
1	-97.387480	97.096069	41.235889	31.366810	0.961544
2	-152.775891	48.874225	-14.830486	-20.294350	0.999612
3	-105.894875	-6.764783	38.139613	-75.857127	1.031122
4	-50.466817	37.794043	93.130648	-24.190684	0.993054

RMS Error: 0.996639

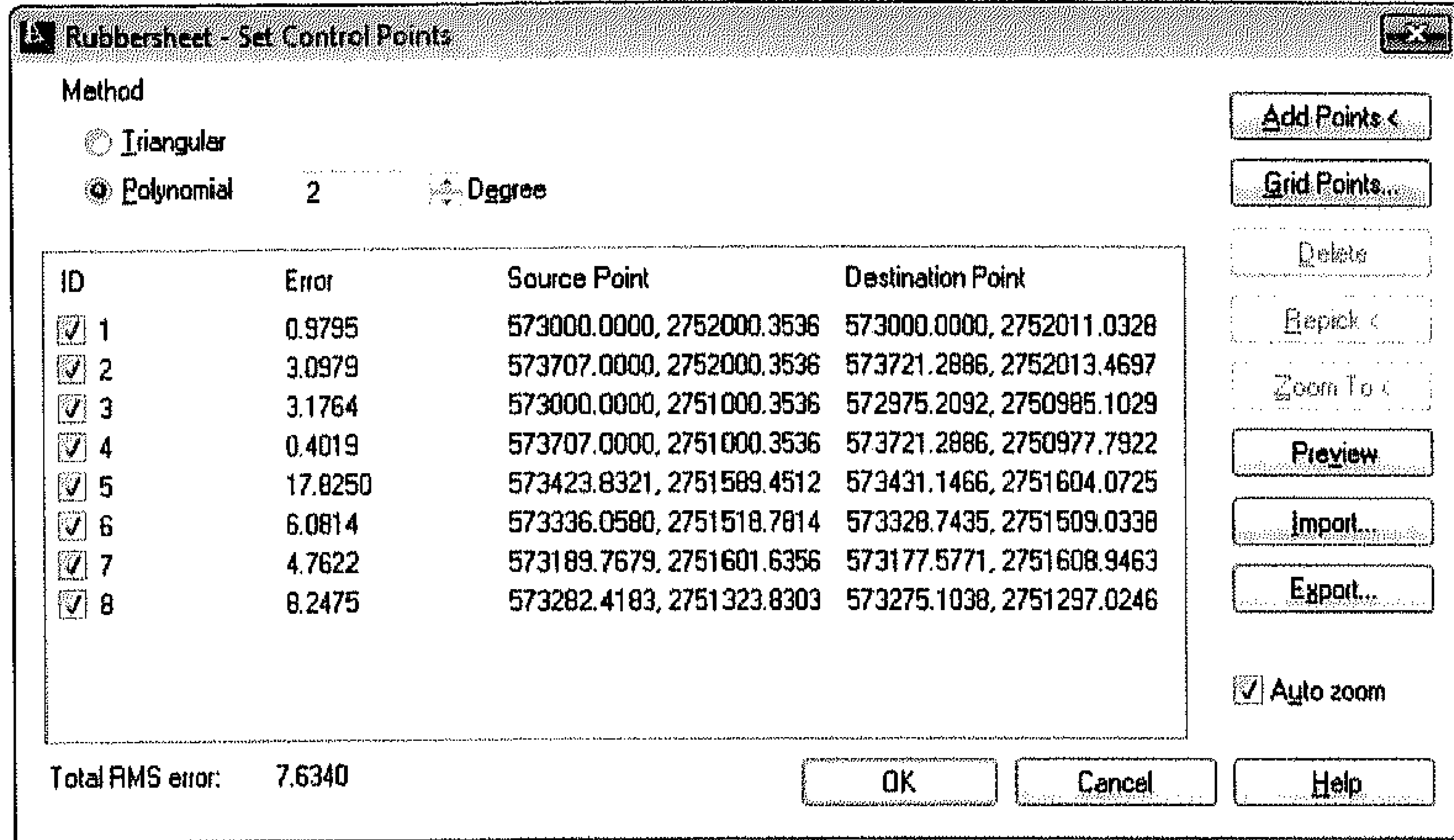
Delete Link

Close

الشكل 5-34 تقييم دقة التحويل في ArcGIS

AutoCAD® Map 3D

يمكن حذف أزواج التحكم ومعاينة الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع أثناء تعريف نقاط التحكم وقبل تنفيذ التحويل باستخدام الأمر Rubber Sheet في الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D.



الشكل 5-35 تقييم دقة التحويل في AutoCAD Map 3D



يخزّن Oracle Spatial معلومات الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع عند تحويل البيانات المتسامتة في كائن من النوع SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE (انظر المثال في 5.3.5 التحويل المتصل).

في طرق التحويل التي تستخدم نقاط التحكم يخزّن Oracle Spatial أزواج نقاط التحكم في ما وراء البيانات (metadata) الخاصة بالبيانات المتسامتة باستخدام **مجموعة** (collection) من النوع SDO_GEOR_GCP_COLLECTION تضم أزواج النقاط في كائنات من النوع SDO_GEOR_GCP (انظر المثال في 5.3.5 التحويل المتصل و 5.3.8 التحويل كثير الحدود).

يعرّف الكائن SDO_GEOR_GCP نقطة تحكم المصدر ونقطة تحكم الهدف ويتألف من مجموعة من السمات؛ الأولى معرّف فريد لزوج نقاط التحكم، والثالثة نوع النقطة حيث تدل القيمة 1 على زوج نقاط التحكم التي تُستخدم في التحويل، وتدل القيمة 2 على زوج نقاط التحقق التي تستخدم في حساب الأخطاء ولا يدخل في التحويل فعلياً:

```
SDO_GEOR_GCP('1', 'First Control Point', 1,
  2, sdo_number_array(25.625000, 73.875000),
  2, sdo_number_array(237036.937500, 897987.187500),
NULL, NULL)
```

المثال التالي يوضح زوج من نقاط التحقق:

```
SDO_GEOR_GCP('5', '', 2,
  2, sdo_number_array(167.470583, 64.030686),
  2, sdo_number_array(237032.015343, 897916.264708),
NULL, NULL)
```

يمكن إضافة (أو تعديل نقاط التحكم) في Oracle Spatial كما في المثال التالي الذي يقوم بإضافة نقطة تحكم معرّفها 21:

```
DECLARE
g1 sdo_georaster;
GCP SDO_GEOR_GCP;
BEGIN
SELECT georaster INTO g1 from georaster_table WHERE georid=10 FOR UPDATE;
GCP := SDO_GEOR_GCP('21', 'Updated', 1,
2, sdo_number_array(25.625000, 73.875000),
2, sdo_number_array(237036.937500, 897987.187500),
NULL, NULL);
sdo_geor.setControlPoint(g1, GCP);
UPDATE georaster_table SET georaster=g1 WHERE georid=10;
COMMIT;
END;
/
```

المثال التالي يوضح كيفية حذف نقطة التحكم:

```
DECLARE
g1 sdo_georaster;
BEGIN
SELECT georaster INTO g1 from georaster_table WHERE georid=10 FOR UPDATE;
sdo_geor.deleteControlPoint(g1, '21');
UPDATE georaster_table SET georaster=g1 WHERE georid=10;
COMMIT;
END;
/
```

لاسترجاع المعلومات المتعلقة بنقطة التحكم، يمكن استخدام المثال التالي:

```
SELECT sdo_geor.getControlPoint(georaster, '21') FROM georaster_table
WHERE georid =10;
```

```
SDO_GEOR.GETCONTROLPOINT(GEORASTER,'21')(POINTID, DESCRIPTION, POINTTYPE,
CELLDI
--------------------------------------------------------------------------------
SDO_GEOR_GCP('21', 'Updated', 1, 2, SDO_NUMBER_ARRAY(25.625000, 73.875000), 2,
SDO_NUMBER_ARRAY(237036.937500, 897987.187500), NULL, NULL)
```

5.3.2. أخذ العيّنات عند تحويل البيانات المتسامتة

يجب أخذ الحيطة عند تحويل البيانات المتسامتة (raster) **المصنّفة** (classified) التي تتضمن **خلايا الشبكة** (grid cells) أي البكسلات فيها قيماً ذات معنى مثل تصنيف الغطاء النباتي حيث تدل القيمة في كل خلية على نوع الغطاء النباتي، وربما تتبدل هذه المعلومات أثناء التحويل.

البيانات المتسامتة لها بنية تخزين محددة تكون فيها شبكة الصفوف والأعمدة أفقية وشاقولية دائماً (بغض النظر عن تدويرها مؤقتاً في أحد برامج نظام المعلومات الجغرافية لتوائم بيانات أخرى)، ويكون لكل خلية يتقاطع فيها أحد الصفوف وأحد الأعمدة قيمة معينة.

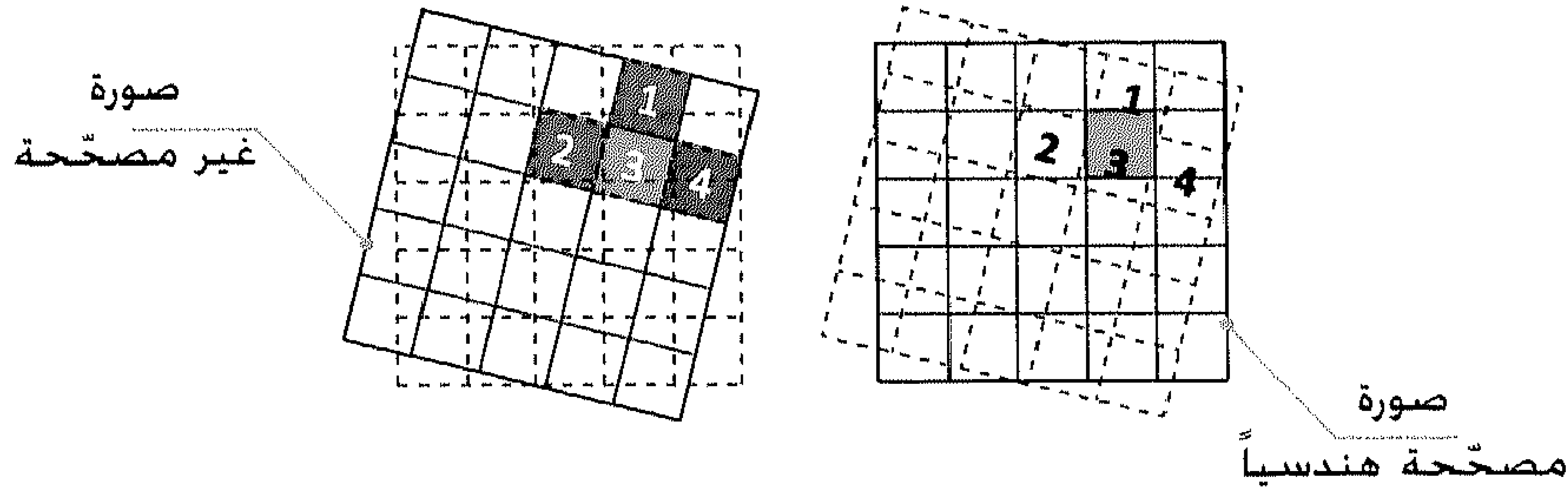
بعد تطبيق التحويل على البيانات المتسامتة، يتغير شكل الشبكة وتنحرف وتنتقل مواقع الخلايا فيها من إحداثيات الصورة (الصف والعمود) إلى إحداثياتها الجديدة. وحتى يمكن تخزين البيانات المتسامتة بعد تصحيحها لا بد من نقل القيم من خلايا الشبكة القديمة إلى خلايا الشبكة الجديدة.

عند التحويل تقوم البرامج بإنشاء الشبكة الجديدة فارغة، ثم تتم مقارنة موقع كل خلية جديدة بمواقع الخلايا القديمة القريبة منها وتُعيّن قيمة لها من أقرب خلية أو من متوسط الخلايا القريبة بأسلوب **أخذ العينات** (resampling).

ثمة طرق مختلفة لأخذ العينات أكثرها شيوعاً **الجار الأقرب** (nearest neighbor)، و**الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية** (bilinear interpolation)، و**الطي التكعيبي** أو **الالتفاف التكعيبي** (cubic convolution). وعند تحويل بيانات متسامتة تغطي مساحة كبيرة ينصح بتنفيذ التحويل على جزء منها واختبار نتائج التحويل لاختيار الطريقة المناسبة لأخذ العينات.

يبين الشكل التالي طريقة الجار الأقرب، تؤخذ عينات القيم من الخلايا الأربع التي تكون مراكزها الأقرب إلى إحدى الخلايا الجديدة ويتم اختيار القيمة لها من أقرب خلية (الخلية رقم 3 في الشبكة القديمة).

في طريقة الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية تؤخذ العيّنات من الخلايا الأربع ذات المركز الأقرب أيضاً، ولكن القيمة الجديدة للخلية هي **متوسط موزون** (weighted average) لهذه القيم الأربع، أي تُعدّل حسب بعدها عن مركز الخلية ما ينتج منه صورة ذات مظهر أكثر سلاسة من الصور الناتجة باستخدام الجار الأقرب، ولكنه يضر ببيانات التصنيف. وتشبه طريقة الطي التكعيبي طريقة الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية لكنها تأخذ العيّنات من أقرب 16 خلية.



الشكل 5-36 أخذ العيّنات بطريقة الجار الأقرب

وفيما يلي مقارنة بين الطرق الثلاثة:

طريقة أخذ العيّنات	المزايا	المساوئ
الجار الأقرب **nearest neighbor**	- لا تتطلب الكثير من موارد نظام ولا تستغرق وقتاً طويلاً. - تستخدم ذات القيم المستخدمة في البيانات الأصلية (القيمة 2 لا تصبح 2.2 أو 3.1) ويفيد ذلك كثيراً في الحفاظ على بيانات التصنيف.	- ينتج منها صورة خشنة، وتظهر الحواف والخطوط فيها خشنة كذلك. - يمكن أن يتسبب بانزياح موقع الخلية مسافة نصف خلية. - يمكن أن تضيع بعض الخلايا أو يتم تكرارها
الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية **bilinear interpolation**	- مزايا متوسطة بين الجار الأقرب والالتفاف المكعّب. - مناسب للبيانات التي تمثل سطوح مستمرة وتتطلب حساب متوسطات موزونة مبنية على بعد القيمة عن مركز الخلية، مثل بيانات الارتفاع، والانحدار (slope)، درجة التلوث، الخ.	مساوئ متوسطة بين الجار الأقرب والالتفاف المكعّب

الطي (أو الالتفاف) التكعيبي cubic convolution	- ينتج منها صورة ذات حواف ناعمة - لا تتسبب بانزياح مواقع الخلايا بعيداً عن موقعها الأصلي - مناسبة لخرائط الأساس وتستخدم كثيراً في معالجة الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية	- تتطلب موارد نظام ووقتاً أطول - ينتج من التحويل قيم خلايا جديدة، ويؤثر ذلك كثيراً في معلومات التصنيف.

الجدول 5-10 مزايا طرق إعادة بناء الصورة

AutoCAD® Map 3D

يضيف الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D طرقاً أخرى لأخذ العيّنات منها Lanczos (تلفظ لانْتْسوُش) التي تأخذ العيّنات من أقرب 36 خلية.

ORACLE SPATIAL

يضيف Oracle Spatial طريقتين أخريين لأخذ العيّنات هما AVERAGE4 وAVERAGE16، وهي **المتوسط البسيط** (simple average) لقيم الخلايا الأربع أو الـ 16 التي تكون مراكزها أقرب إلى الخلية الجديدة.

5.3.3. ملف العالم (World File)

من الضروري توفير آلية لمحاذاة البيانات المتسامتة (الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية الخ) مع البيانات المكانية الأخرى بصورة تلقائية عند تحميلها، توفيراً للوقت وتفادياً لأية أخطاء قد يقع فيها المستخدم. وتبرز هذه الأهمية عندما نتذكر أن الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية التي تغطي منطقة كبيرة تتم **تجزئتها** (tiling) في معظم الأحيان إلى عشرات القطع المربعة (tiles) الصغيرة وذلك لأسباب تتعلق بسرعة الأداء وبتوفير إمكانية تحميل الصور ذات الصلة بمنطقة الدراسة فقط.

تخزّن بعض هيئات (formats) الصور معلومات الإسناد الجغرافي في ترويسة الملف، وعندما يتم تحميلها في برامج نظام المعلومات الجغرافية يمكن مواءمتها تلقائياً بإدراجها في الموقع وبالحجم وزاوية الدوران الصحيحة. ومن البيانات التي تدعم هذه الميزة ملفات ERDAS وIMAGINE وBSQ وBIL وBIP وGeoTiff وGRID وGeoSPOT.

بالنسبة لبقية هيئات الصور التي لا تدعم تخزين معلومات الإسناد الجغرافي في ترويسة الملف فإنه يتم الاستعانة **بملف مرافق** (sidecar file) لتخزين هذه المعلومات. يحمل الملف المرافق اسم الملف ذاته ولكنه يأتي في **امتداد** (extension) مختلف. ويُعدّ أسلوب الملف المرافق أسلوباً عاماً لتخطي القيود التي تفرضها بعض هيئات الملفات ويتكرر في كثير من تطبيقات تقنية المعلومات. يسمى الملف المرافق في حالتنا هذه **ملف العالم** (world file). يبين الجدول التالي هيئات (formats) البيانات المتسامتة وملف العالم لكل هيئة منها:

ملف البيانات المتسامتة		ملف العالم	ملف البيانات المتسامتة		ملف العالم
image.tif	or	image.tfw, image.tifw	image.bil	or	image.blw image.bilw
image.jpg	or	image.jgw image.jpgw	image.raster		image.rasterw
image.bmp	or	image.bpw image.bmpw	image.bt		image.btw
image.gif	or	image.gfw image.gifw	Image		imagew

الجدول 5-11 هيئات ملف العالم

يتألف ملف العالم من ستة وسطاء تبين ارتباط البيانات المتسامتة بالإحداثيات على الخريطة في صورة **تحويل متصل** (affine transformation) (انظر 5.3.5 التحويل المتصل) كما يلي:

A
D
B
E
C
F

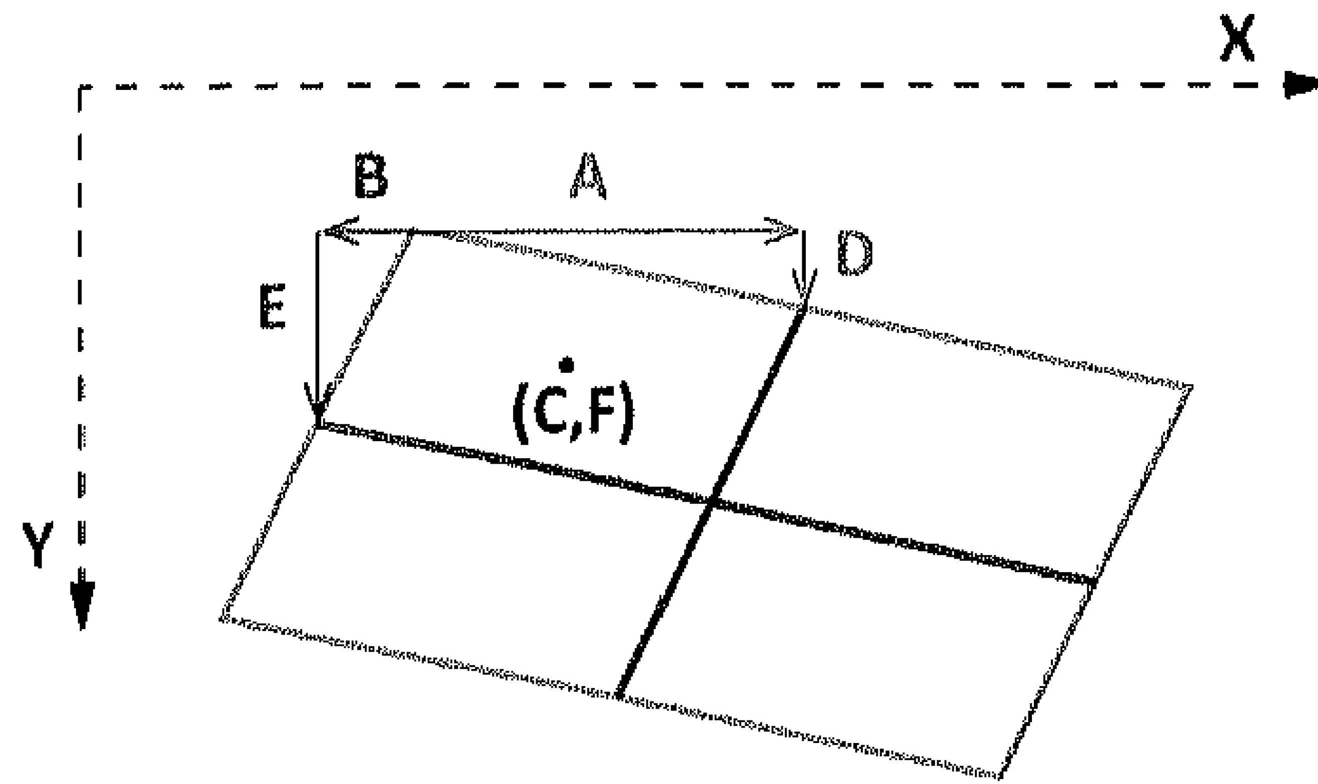
حيث **A**: حجم البكسل من الصورة مقيساً على محور X في الخريطة بوحدة قياس محور الإحداثيات

D و**B**: الدوران حول المحور Y والمحور X على الترتيب. غالباً ما تكون الصورة في المنظر القائم وتكون قيمة كل من هذين الوسيطين صفراً.

E: حجم البكسل من الصورة مقيساً على محور Y في الخريطة بوحدة قياس محور الإحداثيات. تكون قيمة E سالبة دائماً لأن اتجاه محور Y في نظام إحداثيات الصورة يقع إلى الأسفل، وإذا

كانت قيمتا A وE متساويتان يكون حجم بكسلات الصورة مربعاً.

C و**F**: إحداثي X وY على الترتيب لمركز البكسل الأول في الزاوية اليسرى العليا للصورة



الشكل 5-37 وسطاء ملف العالم

لا يتضمن ملف العالم أية معلومات عن نظام الإحداثيات المرجعي الذي تم مواءمة البيانات المتسامتة فيه، ولذلك يحتاج المستخدم في معظم الأحيان إلى تحميل الصورة في ملف خريطة يستخدم ذات النظام المرجعي لملف العالم.

مشروع:

اكتب ملف العالم لبيانات في منطقة حتّا في إمارة دبي (الملف hatta.jpg) إذا كانت إحداثيات مركز البكسل في الزاوية اليسرى العليا للصورة في نظام WGS 84 / Dubai Local TM:

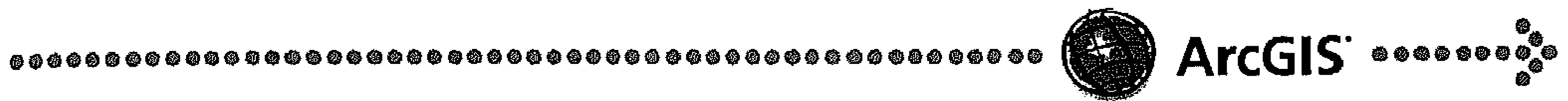
$$X = 573000.500, \qquad Y = 2751999.500$$

مع العلم أن حجم البكسل في كلا الاتجاهين 1 متر، ولا يوجد دوران للصورة مع محاور الإحداثيات.

الحل:

يمكن كتابة ملف العالم في الملف النصي hatta.jgw:

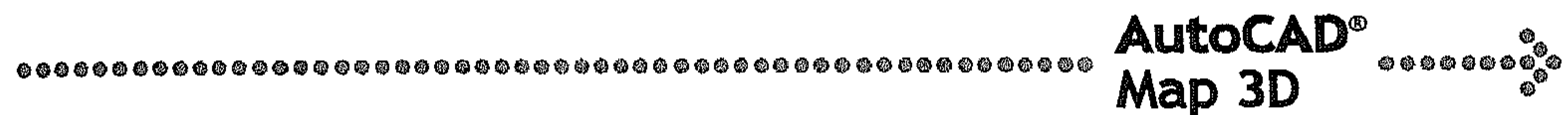
```
1.000
0.000
0.000
-1.000
573000.500
2751999.500
```



يمكن تصدير ملف العالم لصورة تم إسنادها جغرافياً في ArcGIS بالنقر فوق الزر Update Georeferencing في شريط أدوات Georeferencing أو باستخدام الأداة Export Raster World File في ArcToolbox:

Data Management Tools > Projections and Transformations > Raster > Raster Properties > Export Raster World File

إذا كانت وسطاء التحويل لا يمكن التعبير عنها في ملف العالم يقوم ArcGIS بحفظ هذه المعلومات في ملف في هيئة aux.xml، ويقوم بكتابة معلومات تقريبية عن التحويل في ملف العالم ولكنه يضيف اللاحقة x إلى امتداد الملف، مثل tfwx بدلاً من tfw للدلالة على أنه تحويل تقريبي.



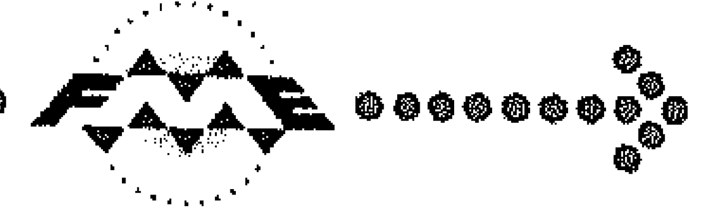
لا يدعم AutoCAD Map 3D تدوير الصورة في زاويتين مختلفتين مع محور الإحداثيات X وY. إذا كان ملف العالم يتضمن هكذا وسيطين، يتجاهل البرنامج الزاوية الثانية ويقوم بتدوير الصورة حول محوري X وY بذات الزاوية. لا يتسبب ذلك بأي مشكلة في معظم الأحيان، إذ غالباً ما تكون الصورة في المنظر القائم وتكون قيمة كل من هذين الوسيطين صفراً.

يمكن استخدام الأمر World File في ملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D لحفظ ملف العالم لصورة قام المستخدم بمواءمتها ويرغب في حفظ هذه الإعدادات لاستخدامها عندما يقوم بتحميل الصورة مرة أخرى:

Ribbon > Raster Tools > Insert & Write > World File
Command: IWORLDOUT



يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي ImportFrom في حزمة SDO_GEOR لاستيراد ملف العالم أثناء استيراد الصورة أيضاً. كما يمكن استخدام البرنامج الفرعي GEOREFERENCE لإسناد الصور غير المسندة جغرافياً وفي هذه الحالة يتم استخدام ذات القيم المتوفرة في ملف العالم (انظر تعليمات الاستخدام في 5.3.5 التحويل المتصل).



عند تحويل البيانات المتسامتة في FME من هيئة إلى أخرى يقوم البرنامج بتوليد ملف العالم في هيئة ملفات WLD التي يتطابق محتواها محتوى ملفات العالم.

5.3.4. تحويل التشابه

يربط **تحويل التشابه** (similarity transformation) بين نظامين للإحداثيات الديكارتية ثنائية الأبعاد من خلال تدوير (rotation) كامل جملة الإحداثيات بزاوية دوران وحيدة θ، وتغيير حجمها (scale change) في كلا الاتجاهين X و Y بعامل مقياس وحيد M، **وإزاحة** (translation) جملة الإحداثيات بالوسيطين X_{TO} و Y_{TO}.

يحافظ تحويل التشابه – إذاً – على أشكال المعالم والزوايا وشكل واستقامة الخطوط وتوازيها في الخريطة، فالمربع مثلاً يبقى مربعاً ولا يتحول إلى مستطيل أو متوازي أضلاع. ولذلك يسمى تحويل التشابه أيضاً **التحويل المُطابِق** (conformal transformation)، كما يسمى تحويل Helmert ثنائي الأبعاد نظراً لأنه تطبيق ثنائي الأبعاد لطريقة Helmert (انظر 5.2.1.2 طريقة Helmert).

يمكن تنفيذ تحويل التشابه من خلال تعريف زوجين من أزواج نقاط التحكم فقط، ولكن حساب الخطأ متوسط التربيع (RMSE) يتطلب تعريف زوج ثالث من أزواج نقاط التحكم على الأقل.

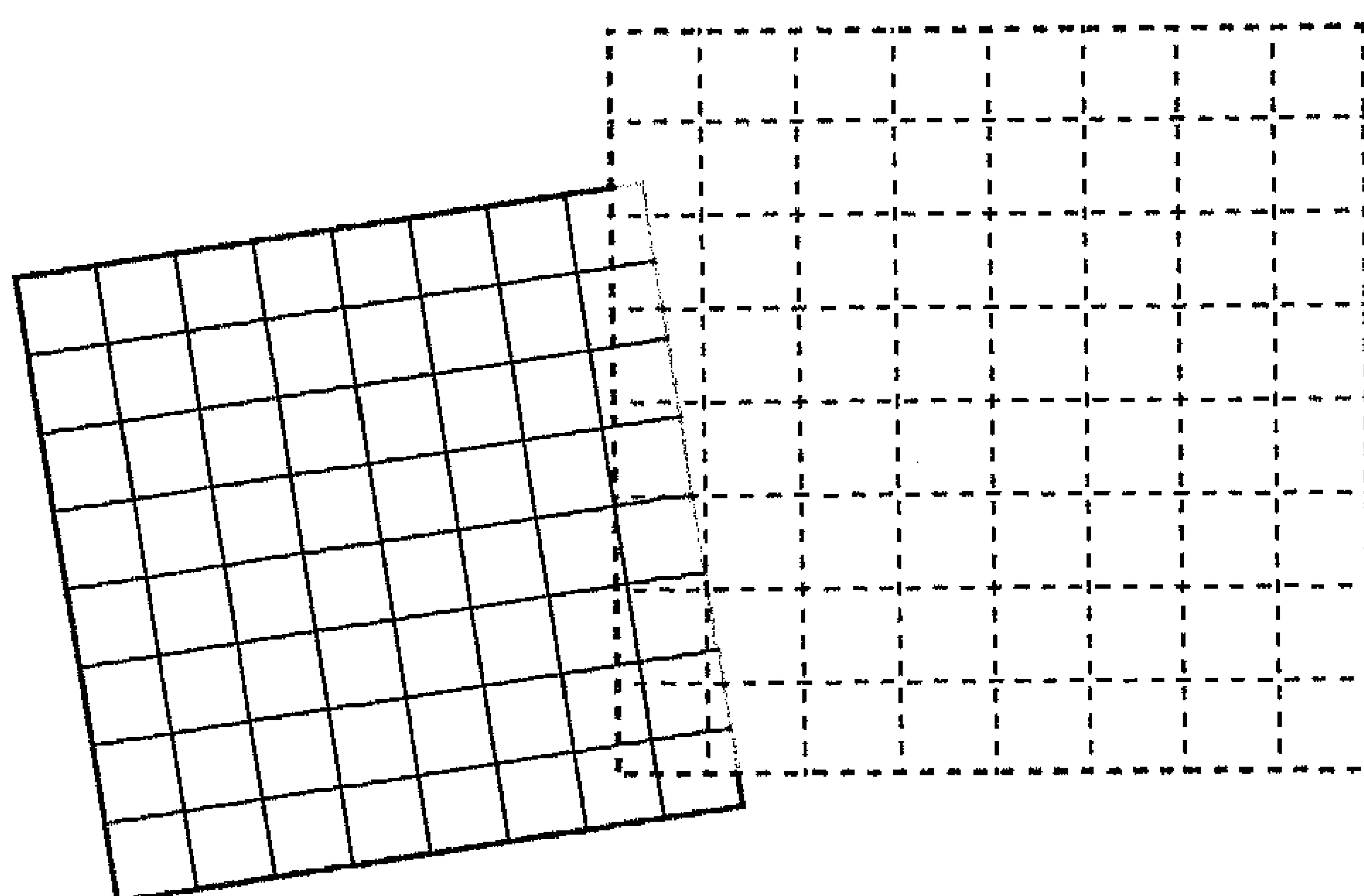
يرمز إلى تحويل التشابه في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9621 على الإحداثيات.

يمكن تحويل الإحداثيات (XS, YS) من النظام المرجعي المصدر إلى الإحداثيات (X_T, Y_T) في النظام الهدف باستخدام معادلة تحويل التشابه كما يلي:

$$X_T = X_{TO} + X_S\, M \cos\theta + Y_S\, M \sin\theta$$
$$Y_T = Y_{TO} - X_S\, M \sin\theta + Y_S\, M \cos\theta$$

أي:

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{TO} \\ Y_{TO} \end{pmatrix} + M \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \end{pmatrix}$$



الشكل 5-38 تحويل التشابه

حيث:

X_T وY_T: الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

X_{TO} وY_{TO}: إحداثيات نقطة مبدأ نظام الإحداثيات المصدر مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

X_S وY_S: الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات المصدر.

M: طول وحدة واحدة من نظام الإحداثيات المصدر مقيسة بوحدات نظام الإحداثيات الهدف.

θ: الزاوية التي تحتاج محاور نظام الإحداثيات المصدر إلى الدوران حولها لتنطبق مع محاور نظام الإحداثيات الهدف، وهي موجبة بعكس اتجاه عقارب الساعة.

يمكن تبسيط هذه المعادلة على النحو التالي:

$$X_T = X_{TO} + A\, X_S + B\, Y_S$$
$$Y_T = Y_{TO} + B\, X_S + A\, Y_S$$

حيث:

$$A = M \cos\theta$$
$$B = -M \sin\theta$$

وبالتالي يمكننا القول أن تحويل التشابه يتطلب أربعة وسطاء (أو معامِلات) هي A, B, X_{TO}, Y_{TO}.

مشروع:

يراد تحويل نقطة في إسبانيا إحداثياتها في النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة ED50 / UTM zone 31N الذي يرمز إليه في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 23031:

$$E = 300000\, m$$
$$N = 4500000\, m$$

التحويل المطلوب إلى النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة ETRS89 / UTM zone 31N الذي يرمز إليه في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 25831، حيث وسطاء التحويل (عملية تحويل الإحداثيات رقم 5166 في قاعدة بيانات EPSG):

$$X_{TO} = -129.549\, metres$$
$$Y_{TO} = -208.185\, metres$$
$$M = 1.00000155$$
$$\theta = 1.56504" = 0.000007588\, rad$$

الحل:

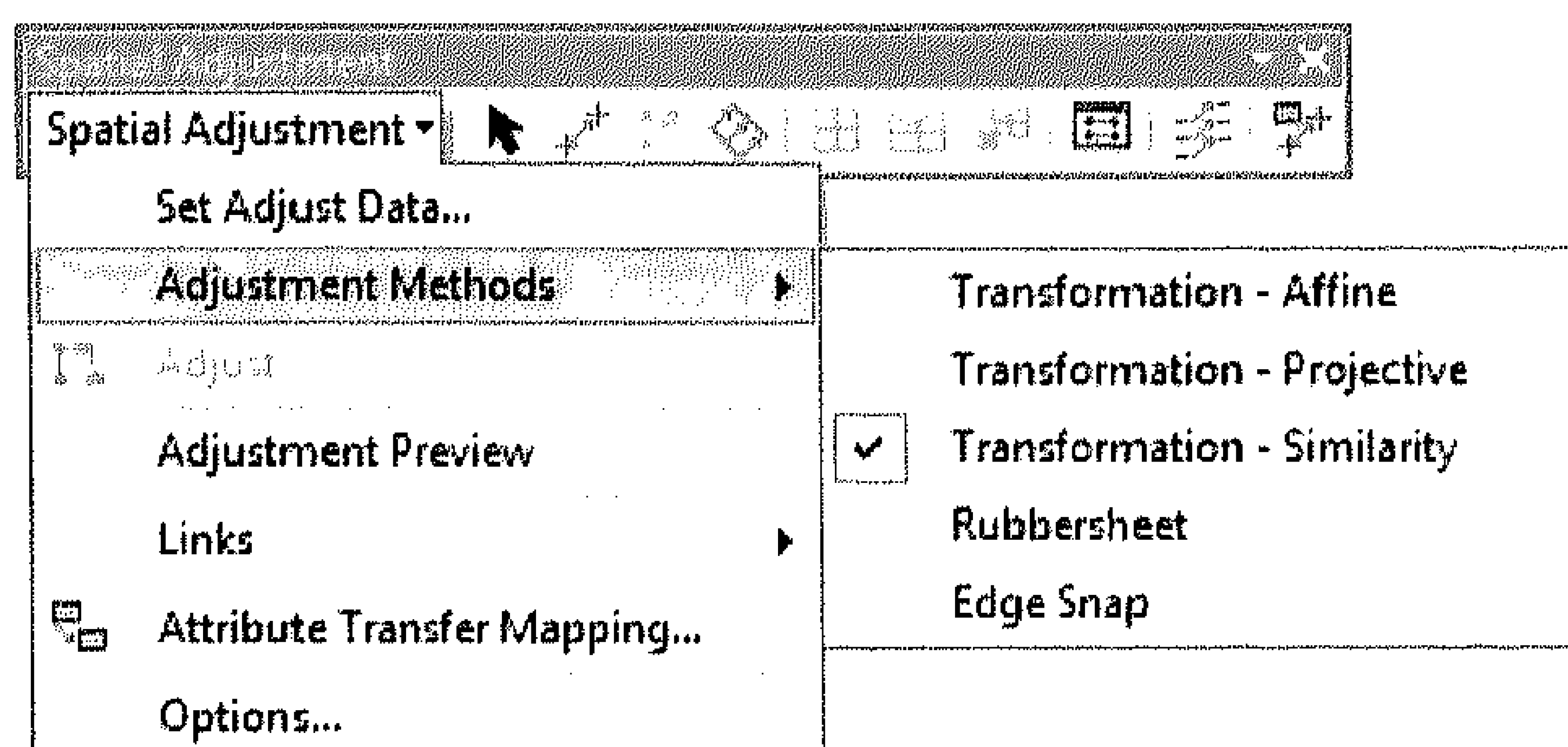
من المعادلات السابقة:

$$E_{ETRS89} = -129.549 + 300000.465 + 34.1439 = 299905.0599\, m$$
$$N_{ETRS89} = -208.185 - 2.2763 + 4500006.9749 = 4499796.5136\, m$$



يُنفّذ تحويل التشابه في ArcGIS من خلال شريط أدوات الضبط المكاني (Spatial Adjustment) وانتقاء تحويل التشابه من القائمة Adjustment Methods.

يجب أولاً تفعيل تحرير طبقة البيانات المراد تحويلها بالنقر فوقها بزر الفأرة الأيمن في جدول المحتويات وانتقاء Edit Features > Start Editing. بعد تفعيل التحرير يمكن انتقاء الطبقة بالنقر على Set Adjust Data في قائمة شريط أدوات الضبط المكاني وانتقاء الطبقة في صندوق حوار Choose Input For Adjustment.



الشكل 5-39 تحويل التشابه في شريط أدوات الضبط المكاني في ArcGIS

بعد ذلك يمكن انتقاء تحويل التشابه من Adjustment Methods في قائمة شريط الأدوات. تسمى الوصلة بين نقاط التحكم المصدر والهدف في ArcGIS **وَصْلَة انزياح** (displacement link)، وتُعرّف نقاط التحكم هذه من خلال إنشاء العدد المطلوب من وصلات الانزياح باستخدام الزر New Displacement Link في شريط أدوات الضبط المكاني.

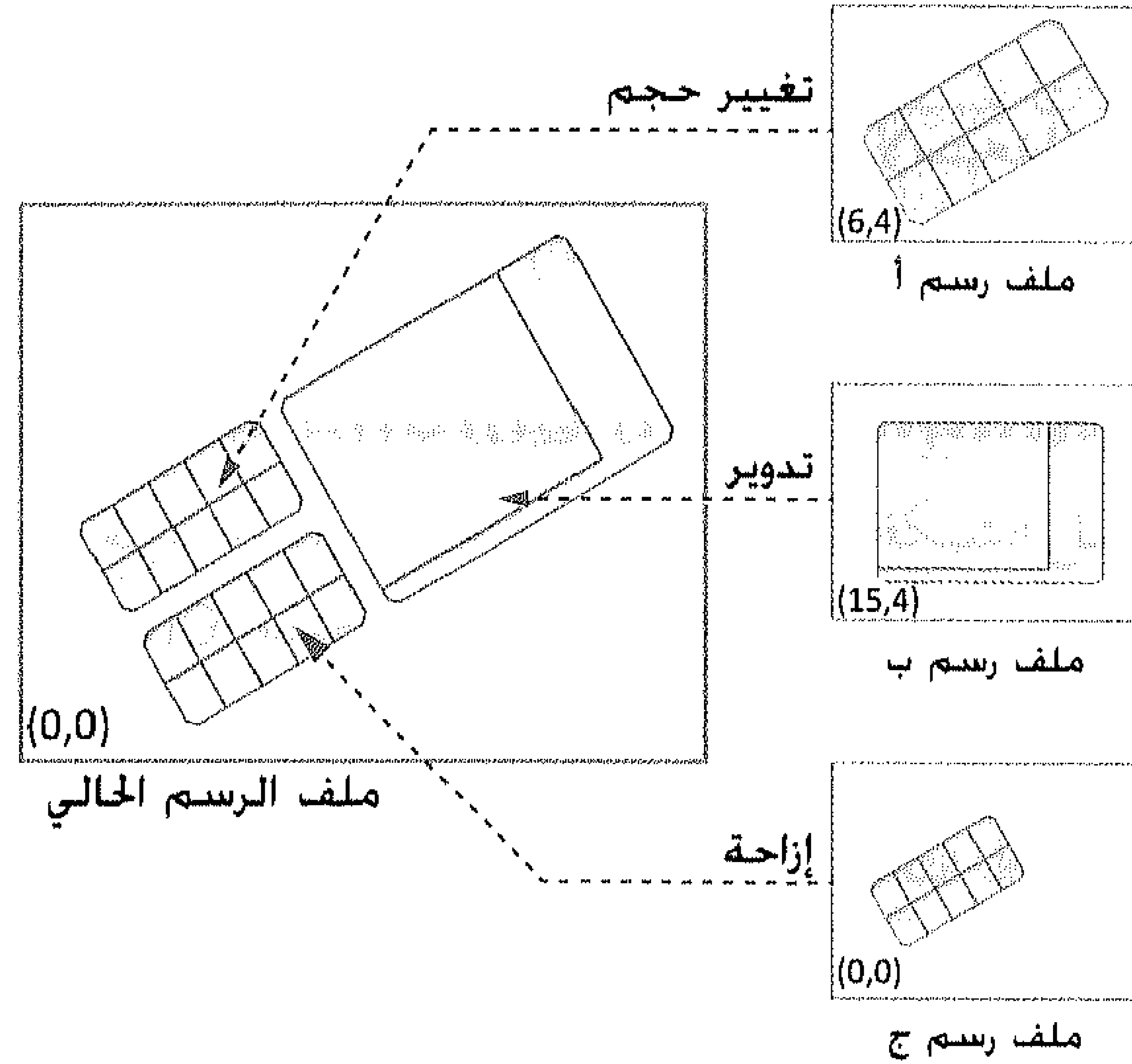
يمكن التحقق من معلومات الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع قبل تنفيذ التحويل بالنقر فوق View Link Table في شريط الأدوات. كما يمكن معاينة التحويل قبل تنفيذه من خلال نافذة Adjustment Preview. بعد الانتهاء من تعريف وصلات الانزياح والتأكد من دقة التحويل يمكن تحويل البيانات بالنقر فوق Adjust في قائمة شريط الأدوات.

AutoCAD® Map 3D

عند إرفاق ملفات رسوم (drawings) من مصادر متعددة في ملف الرسم الحالي في AutoCAD Map 3D يمكن تنفيذ تحويل التشابه من خلال التحويل البسيط (simple transformation) ضمن أمر تعريف/تعديل مجموعة الرسوم (Define/Modify Drawing Set) لتغيير حجم الكائنات التي يتم استرجاعها من الرسوم المرفقة وتدويرها وإزاحتها بحيث تظهر في موقعها الصحيح في الرسم الحالي، ما يساعد في تركيب الرسوم من مصادر مختلفة لإنشاء خريطة واحدة من دون تعديل البيانات الأصلية.

Menu: Setup > Define/Modify Drawing Set
Ribbon: Home > Data > Define Drawing Set
Command: ADEDRAWINGS

يُنفّذ التحويل البسيط من خلال صندق الحوار Define/Modify Drawing Set بعد إرفاق (Attach) ملف الرسم بانتقاء ملف الرسم المرفق ثم النقر فوق زر إعدادات الرسم (Drawing Settings) وتفعيل التحويل البسيط ثم إدخال قيم التحويل في مربعات الإدخال Scale وRotation وOffset.



الشكل 5-40 التحويل البسيط في AutoCAD Map 3D

يقوم AutoCAD Map 3D بتخزين إعدادات تحويل الرسوم المرفقة في الرسم الحالي، بحيث يتم تطبيق التحويل تلقائياً عند فتحه مرة أخرى، أما الملف الأصلي للرسم المرفق فلا يتغير، وبالتالي فإن التغييرات الناتجة من التحويل البسيط هي تغييرات مؤقتة.

AutoCAD® Map 3D

يقوم الأمر Transform في AutoCAD Map 3D بتنفيذ تحويل التشابه بحيث تكون هذه التغييرات دائمة، على العكس من التحويل المؤقت الذي توفره خيارات التحويل البسيط. ويمكن تنفيذ الأمر Transform على الكائنات الموجودة في ملف الرسم الحالي، بما في ذلك إسناد صورة جوية جغرافياً بحيث تطابق كائنات أخرى، أو تحويل الكائنات بحيث تطابق صورة جوية.

Menu: Modify > Transform
Ribbon: Tools > Map Edit > Transform
Command: ADETRANSFORM

يُنفّذ الأمر Transform بتحديد الكائنات أو الطبقات المراد تحويلها ثم انتقاء زوجين من أزواج نقاط التحكم يتألف كل زوج من نقطة مصدر (source point) ونقطة وجهة (destination point)، وتُحدّد هذه النقاط باستخدام الفأرة أو بإدخال إحداثياتها في نافذة الأوامر.

AutoCAD® Map 3D

يدعم AutoCAD Map 3D تحويل التشابه أثناء تهيئة المرقّم لاستخدامه في إنشاء خريطة رقمية من أخرى مطبوعة باستخدام الأمر TABLET (انظر 1.4.6 الترقيم).

ORACLE SPATIAL

يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي AFFINETRANSFORMS في حزمة SDO_UTIL لتحويل البيانات باستخدام تحويل التشابه (انظر تعليمات الاستخدام في 5.3.5 التحويل المتصل).

ORACLE SPATIAL

يمكن في Oracle Spatial إسناد البيانات المتسامتة جغرافياً باعتماد تحويل التشابه أو التحويل المتصل باستخدام الإجراء GEOREFERENCE في حزمة SDO_GEOR (انظر تعليمات الاستخدام في 5.3.5 التحويل المتصل).

FME

يمكن تنفيذ تحويل التشابه في FME باستخدام المحوّل Affiner (انظر المثال في 5.3.5 التحويل المتصل) مع تحقيق ما يلي:

$$A = E, \qquad B = -D$$

5.3.5. التحويل المتصل

يربط **التحويل المتصل** (affine transformation) بين نظامين للإحداثيات الديكارتية ثنائية الأبعاد من خلال تدوير محوري جملة الإحداثيات بزاويتي دوران مختلفتين هما θ_X للمحور X وθ_Y

للمحور Y، وذلك لجعل محوري الإحداثيات في النظام المرجعي المصدر ينطبقان مع محوري الإحداثيات في النظام المرجعي الهدف، وتغيير حجمها بعاملي قياس مختلفين هما M_X في اتجاه X والثاني M_Y في اتجاه Y، وإزاحة (translation) مبدأ الإحداثيات بالوسيطين X_{TO} وY_{TO}.

وبما أن معادلات إسقاط الخريطة تحافظ على المقياس الصحيح في الخطوط القياسية فقط (انظر 4.7 المحافظة على المقياس) نظراً للتشوه الذي تتسبب به هذه المعادلات، فإن وحدة القياس في النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة تكون صحيحة في هذه الخطوط القياسية فقط، وفيما عدا ذلك يكون المقياس مشوّهاً. لذلك يستخدم التحويل المتصل عامل مقياس النقطة k من أجل الحصول على دقة أكبر في عملية التحويل.

يؤدي التحويل المتصل – إذاً – إلى انحراف الزوايا القائمة وبالتالي يصبح المستطيل متوازي أضلاع، كما يؤدي إلى مطّ شكل الشبكة والبيانات المكانية بحيث يصبح المربع مستطيلاً وهكذا، ومع ذلك يحافظ التحويل المتصل على استقامة الخطوط وتوازيها.

يمكن تنفيذ التحويل المتصل من خلال تعريف ثلاثة أزواج من نقاط التحكم فقط، ولكن ينصح بتعريف أزواج إضافية من نقاط التحكم لرفع جودة التحويل.

تعرف قاعدة بيانات EPSG نوعين من التحويل المتصل؛ هما الوسيطي والهندسي، يختلفان في وسطاء التحويل وبالتالي صيغة معادلة التحويل.

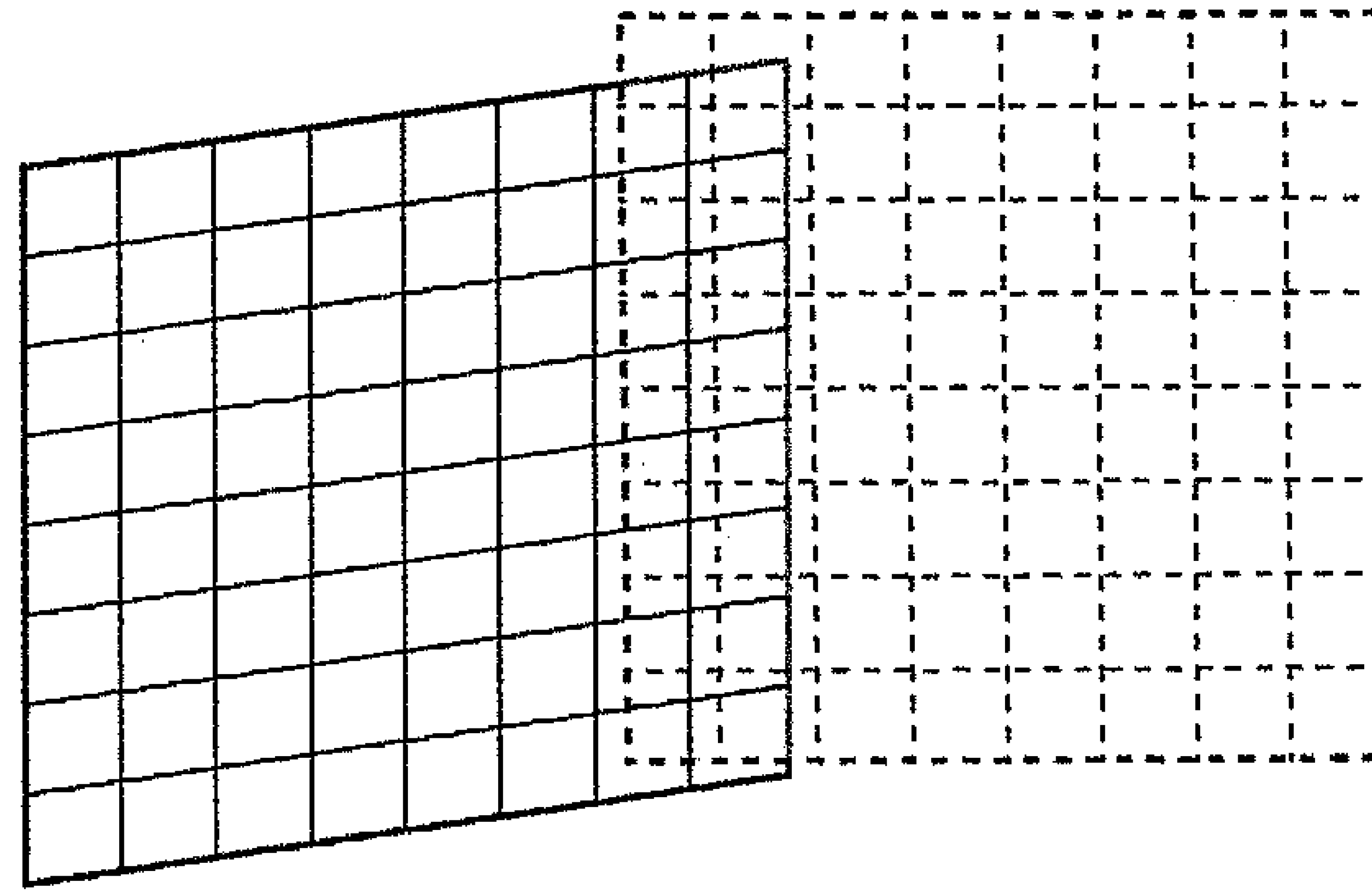
يرمز إلى **التحويل المتصل الهندسي** (affine geometric transformation) في قاعدة بيانات EPSG بالعملية 9623 على الإحداثيات.

يمكن تحويل الإحداثيات (X_S, Y_S) من النظام المرجعي المصدر إلى الإحداثيات (X_T, Y_T) في النظام الهدف باستخدام معادلة التحويل المتصل الهندسي كما يلي:

$$X_T = X_{TO} + X_S\, k\, M_X \cos\theta_X + Y_S\, k\, M_Y \sin\theta_Y$$
$$Y_T = Y_{TO} - X_S\, k\, M_X \sin\theta_X + Y_S\, k\, M_Y \cos\theta_Y$$

أو:

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{TO} \\ Y_{TO} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos\theta_X & \sin\theta_Y \\ -\sin\theta_X & \cos\theta_Y \end{pmatrix} k \begin{pmatrix} M_X & 0 \\ 0 & M_Y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \end{pmatrix}$$



الشكل 5-41 التحويل المتصل

حيث:

X_T وY_T: الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

X_S وY_S: الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات المصدر.

X_{TO} وY_{TO}: إحداثيات نقطة مبدأ نظام الإحداثيات المصدر مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

k: عامل مقياس النقطة لنظام الإحداثيات الهدف في نقطة مرجعية يتم انتقاؤها.

M_X وM_Y: طول وحدة واحدة من محور نظام الإحداثيات المصدر مقيسة بوحدات محور نظام الإحداثيات الهدف، على المحور X وY على الترتيب.

θ_X وθ_Y: الزاويتان اللتان يحتاج محورا X وY في نظام الإحداثيات المصدر إلى الدوران حولهما لينطبقا مع محوري X وY في نظام الإحداثيات الهدف، وهي موجبة بعكس اتجاه عقارب الساعة.

من ناحية أخرى يمكن كتابة معادلة التحويل المتصل بصيغة التحويل كثير الحدود من الدرجة الأولى (انظر 5.3.8 التحويل كثير الحدود)، كما يلي:

$$X_T = A_0 + A_1X + A_2Y$$
$$Y_T = B_0 + B_1X + B_2Y$$

يسمى التحويل المتصل المعرّف بالمعادلة أعلاه **التحويل المتصل الوسيطي** (affine parametric transformation)، ويرمز إليه في قاعدة بيانات ESPG بالعملية 9624. ويمكن إيضاح العلاقة بين التحويل المتصل الوسيطي بالتحويل المتصل الهندسي كما يلي:

$$A_0 = X_{TO}$$
$$A_1 = k\,M_X \cos\theta_X$$
$$A_2 = k\,M_Y \sin\theta_Y$$
$$B_0 = Y_{TO}$$
$$B_1 = -k\,M_X \sin\theta_X$$
$$B_2 = k\,M_Y \cos\theta_Y$$

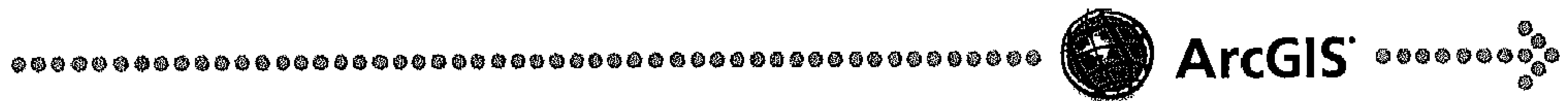
وبالتالي يمكننا القول أن التحويل المتصل يتطلب ستة وسطاء (أو معامِلات) هي $A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2$.

ونلاحظ هنا أن تحويل التشابه هو حالة خاصة من التحويل المتصل الوسيطي، فيها:

$$A1 = B2$$
$$A2 = -B1$$



يُنفّذ التحويل المتصل في ArcGIS من خلال شريط أدوات الضبط المكاني (Spatial Adjustment) وانتقاء Affine - Transformation من القائمة Adjustment Methods. وتُعرّف وصلات الانزياح وتنفيذ التحويل بذات الخطوات المذكورة في تحويل التشابه.



يدعم ArcGIS التحويل المتصل للبيانات المتسامتة (raster data) أيضاً، ويمكن تنفيذ ذلك من خلال شريط أدوات Georeferencing (انظر 5.3.8 التحويل كثير الحدود).



يدعم AutoCAD Map 3D التحويل المتصل أثناء تهيئة المرقِّم لاستخدامه في إنشاء خريطة رقمية من أخرى مطبوعة باستخدام الأمر TABLET (انظر 1.4.6 الترقيم).



يمكن في Spatial Oracle استخدام البرنامج الفرعي AFFINETRANSFORMS في حزمة SDO_UTIL لتحويل البيانات المتجهة تحويلاً متصلاً ثلاثي الأبعاد. يمكن لهذا التحويل إزاحة البيانات وتغيير حجمها وتدويرها وجعلها تنحرف (shearing) وتنعكس (reflection). ويمكنك العودة إلى دليل Oracle Spatial للمزيد من التفاصيل.

المثال التالي يقوم بعكس المضلع ثنائي الأبعاد الذي إحداثيات عقده (1.5,0,2.5,1,1.5,2,0.5,2,0.5,0,1.5,0) خلال المستوي YZ (dirR => 0) حول الخط الذي إحداثيات طرفيه (2.5,0.0,2.5,2.0):

```
SELECT SDO_UTIL.AFFINETRANSFORMS(
 geometry => MDSYS.SDO_GEOMETRY(2003, NULL, NULL,
   MDSYS.SDO_ELEM_INFO_ARRAY(1,1003,1),
   MDSYS.SDO_ORDINATE_ARRAY(
    1.5,0,
    2.5,1,
    1.5,2,
    0.5,2,
    0.5,0,
    1.5,0)),
 translation => 'FALSE',
 tx => 0.0,
 ty => 0.0,
 tz => 0.0,
 scaling => 'FALSE',
 psc1 => NULL,
 sx => 0.0,
 sy => 0.0,
 sz => 0.0,
 rotation => 'FALSE',
 p1 => NULL,
 line1 => NULL,
 angle => 0.0,
 dir => 0,
 shearing => 'FALSE',
 shxy => 0.0,
 shyx => 0.0,
 shxz => 0.0,
```

```
 shzx => 0.0,
 shyz => 0.0,
 shzy => 0.0,
 reflection => 'TRUE',
 pref => NULL,
 lineR => MDSYS.SDO_GEOMETRY(2002,0,NULL,
   MDSYS.SDO_ELEM_INFO_ARRAY(1,2,1),
   MDSYS.SDO_ORDINATE_ARRAY(2.5,0.0,2.5,2.0)),
 dirR => 0,
 planeR => 'FALSE',
 n => NULL,
 bigD => NULL
) FROM DUAL;
```



يمكن في Oracle Spatial تنفيذ الإسناد الجغرافي للبيانات المتسامتة (raster data) مثل الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية باعتماد التحويل المتصل باستخدام البرنامج الفرعي GEOREFERENCE في حزمة SDO_GEOR. ويمكن تنفيذ ذلك بطريقتين؛ الأولى باستخدام وسطاء التحويل المتصل، والثانية بالاعتماد على مجموعة من نقاط التحكم.

مشروع:

مطلوب إسناد بيانات متسامتة جغرافياً في Oracle Spatial باستخدام وسطاء التحويل المتصل لمنطقة حتّا في إمارة دبي في الجدول DUBAI_RASTER إذا كان معرّف هذه البيانات المتسامتة في الجدول المذكور هو 891 وأن إحداثيات مركز البكسل في الزاوية اليسرى العليا للصورة في نظام WGS 84 / Dubai Local TM:

$$X = 573000.500$$
$$Y = 2751999.500$$

مع العلم أن حجم البكسل في كلا الاتجاهين 1 متر، ولا يوجد دوران للصورة مع محاور الإحداثيات.

الحل:

نعلم أن معرّف النظام المرجعي WGS 84 / Dubai Local TM في قاعدة بيانات EPSG هو

3997، وإذا لم يكن في الجدول MDSYS.CS_SRS نقوم بإنشائه (انظر 4.11.2 إنشاء نظام مرجعي جديد للإحداثيات المسقطة). إذاً يمكن إسناد هذه البيانات جغرافياً كما يلي:

```
DECLARE
  g SDO_GEORASTER;
BEGIN
  SELECT georaster INTO g FROM DUBAI_RASTER WHERE id = 891 FOR UPDATE;
  SDO_GEOR.GEOREFERENCE (
                georaster => g,
                srid => 3997,
                modelcoordinatelocation => 0, -- 0 for center of the cell
                xCoefficients => sdo_number_array (1, 0, 573000.500),
                yCoefficients => sdo_number_array (0, -1, 2751999.500)
  );
  UPDATE DUBAI_RASTER SET georaster = g WHERE id = 891;
  COMMIT;
END;
/

PL/SQL procedure successfully completed.
```

مشروع:



مطلوب إسناد بيانات متسامتة جغرافياً في Oracle Spatial باستخدام مجموعة من نقاط التحكم (مبينة لاحقاً في الحل) لمنطقة في Massachusetts في الولايات المتحدة الأمريكية في الجدول MASSACHUSETTS_RASTER إذا كان معرّف هذه البيانات المتسامتة في الجدول المذكور هو 10 وأن البيانات في نظام NAD83 / Massachusetts Mainland:

الحل:

نعلم أن معرّف النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة NAD83 / Massachusetts Mainland هو 26986:

```
DECLARE
 g1 SDO_GEORASTER;
 georefModel SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE;
 GCPs SDO_GEOR_GCP_COLLECTION;
 rms sdo_number_array;
BEGIN
 SELECT georaster INTO g1 from MASSACHUSETTS_RASTER WHERE id=10 FOR UPDATE;
 GCPs := SDO_GEOR_GCP_COLLECTION(
   SDO_GEOR_GCP('1', '', 1,
     2, sdo_number_array(25.625000, 73.875000),
     2, sdo_number_array(237036.937500, 897987.187500),
   NULL, NULL),
   SDO_GEOR_GCP('2', '', 1,
     2, sdo_number_array(100.625000, 459.125000),
     2, sdo_number_array(237229.562500, 897949.687500),
   NULL, NULL),
   SDO_GEOR_GCP('3', '', 1,
     2, sdo_number_array(362.375000, 77.875000),
     2, sdo_number_array(237038.937500, 897818.812500),
   NULL, NULL),
   SDO_GEOR_GCP('4', '', 1,
     2, sdo_number_array(478.875000, 402.125000),
     2, sdo_number_array(237201.062500, 897760.562500),
   NULL, NULL),
   SDO_GEOR_GCP('5', '', 2,
     2, sdo_number_array(167.470583, 64.030686),
     2, sdo_number_array(237032.015343, 897916.264708),
   NULL, NULL),
   SDO_GEOR_GCP('6', '', 2,
     2, sdo_number_array(101.456177, 257.915534),
     2, sdo_number_array(237128.957767, 897949.271912),
   NULL, NULL));
georefModel := SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE('Affine', GCPs.count, GCPs, NULL);
rms := sdo_geor.georeference(g1, georefModel, 'FALSE', 26986, 1);
UPDATE MASSACHUSETTS_RASTER SET georaster=g1 WHERE id=10;
COMMIT;
END;
/
```

إذا كانت البيانات المتسامتة بحاجة إلى إسقاط وإسناد جغرافي معاً يمكن في Oracle Spatial استخدام البرنامج الفرعي setSRS في الحزمة SDO_GEOR لتعريف النظام المرجعي لهذه البيانات، حيث يتضمن هذا الإجراء أيضاً تحويلاً متصلاً للبيانات معادلته:

$$row = 32631.5614 + 0 \times X + (-0.03508772) \times Y$$
$$col = -7894.7544 + 0.03508772 \times X + 0 \times Y$$

تُحفظ معلومات النظام المرجعي ووسطاء التحويل في كائن من النوع SDO_GEOR_SRS، ويمكن تنفيذ ذلك كما يلي:

```
DECLARE
 g1 sdo_georaster;
 srs  sdo_geor_srs;
BEGIN
SELECT georaster INTO g1 FROM DUBAI_RASTER WHERE id = 891;
 srs:=sdo_geor_srs();
 srs.isReferenced := 'TRUE';
 srs.isRectified := 'TRUE';
 srs.isOrthoRectified := null;
 srs.srid := 3997;
 srs.spatialResolution := sdo_number_array(28.5, 28.5);
 srs.coordLocation := 0.5;
 srs.rowOff := 0;
 srs.columnOff := 0;
 srs.xOff := 0;
 srs.yOff := 0;
 srs.zOff := 0;
 srs.rowScale := 1;
 srs.columnScale := 1;
 srs.xScale := 1;
 srs.yScale := 1;
 srs.zScale := 1;
 srs.rowRMS := 0;
 srs.columnRMS := 0;
 srs.totalRMS := 0;
 srs.rowNumerator := SDO_NUMBER_ARRAY(1, 2, 1, 3, 32631.5614, 0, -.03508772);
 srs.rowDenominator := SDO_NUMBER_ARRAY(1, 0, 0, 1, 1);
 srs.columnNumerator := SDO_NUMBER_ARRAY(1, 2, 1, 3, -7894.7544, .03508772, 0);
 srs.columnDenominator := SDO_NUMBER_ARRAY(1, 0, 0, 1, 1);
 -- Set the SRS metadata to the GeoRaster object.
 sdo_geor.setSRS(g1, srs);
 UPDATE DUBAI_RASTER SET georaster = g1 WHERE id=891;
 COMMIT;
END;
/
```



يمكن تنفيذ التحويل المتصل في FME باستخدام المحوّل Affiner. يتوفر أيضاً المحوّل 3DAffiner الذي يحافظ على توازي المستويات بالإضافة إلى توازي الخطوط.

في التحويل المتصل باستخدام المحوّل Affiner تُدخل ستة وسطاء للتحويل ما يعني أن البرنامج يستخدم صيغة التحويل المتصل الوسيطي، لكنه يستخدم معادلة يختلف فيها ترتيب الوسطاء:

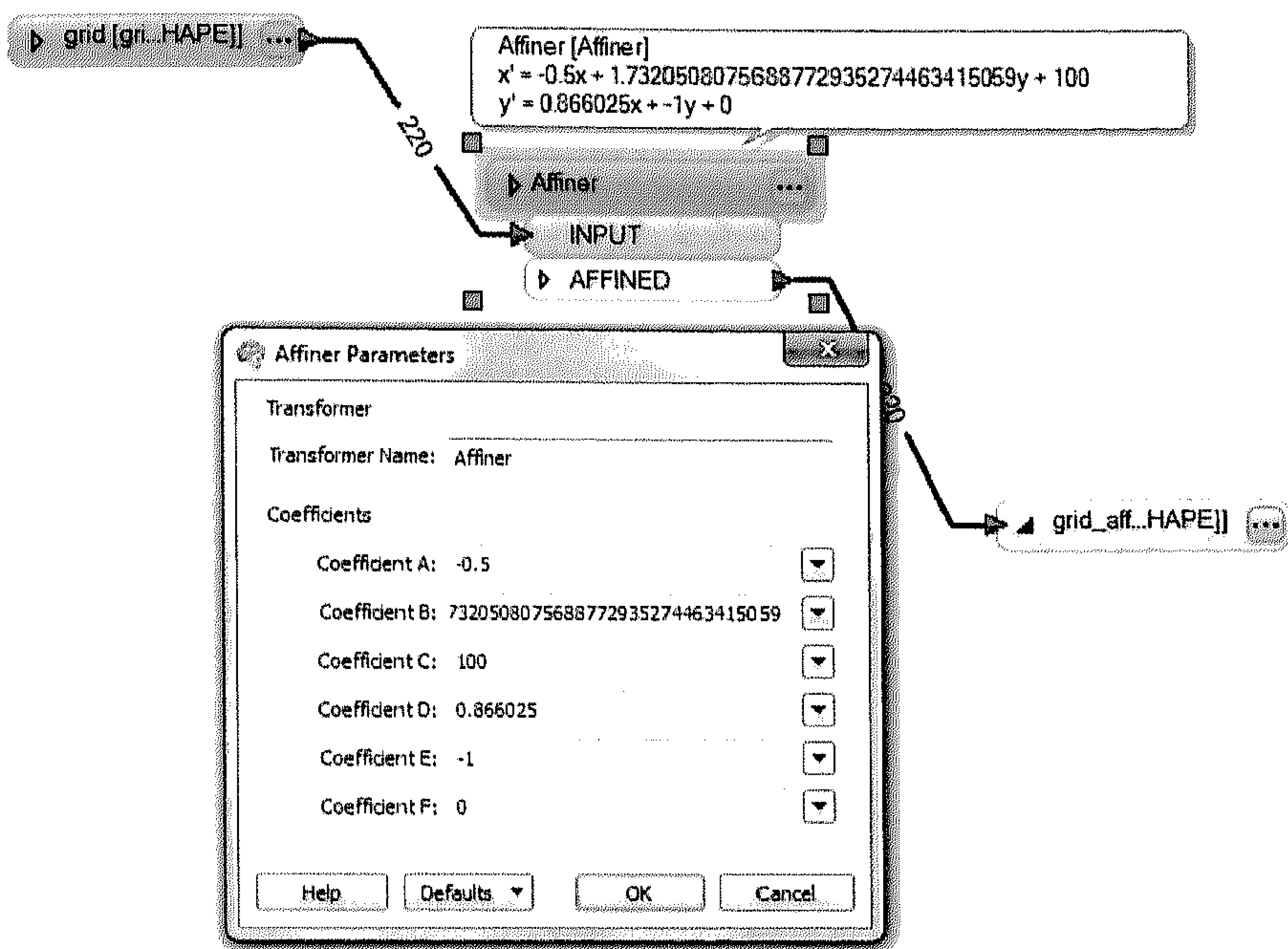
$$X' = Ax + By + C$$
$$Y' = Dx + Ey + F$$

ولمطابقة معادلة التحويل الوسيطي آنفة الذكر يمكن إعادة ترتيب حدودها لتتطابق مع معادلة FME كما يلي:

$$X_T = A_1X + A_2Y + A_0$$
$$Y_T = B_1X + B_2Y + B_0$$

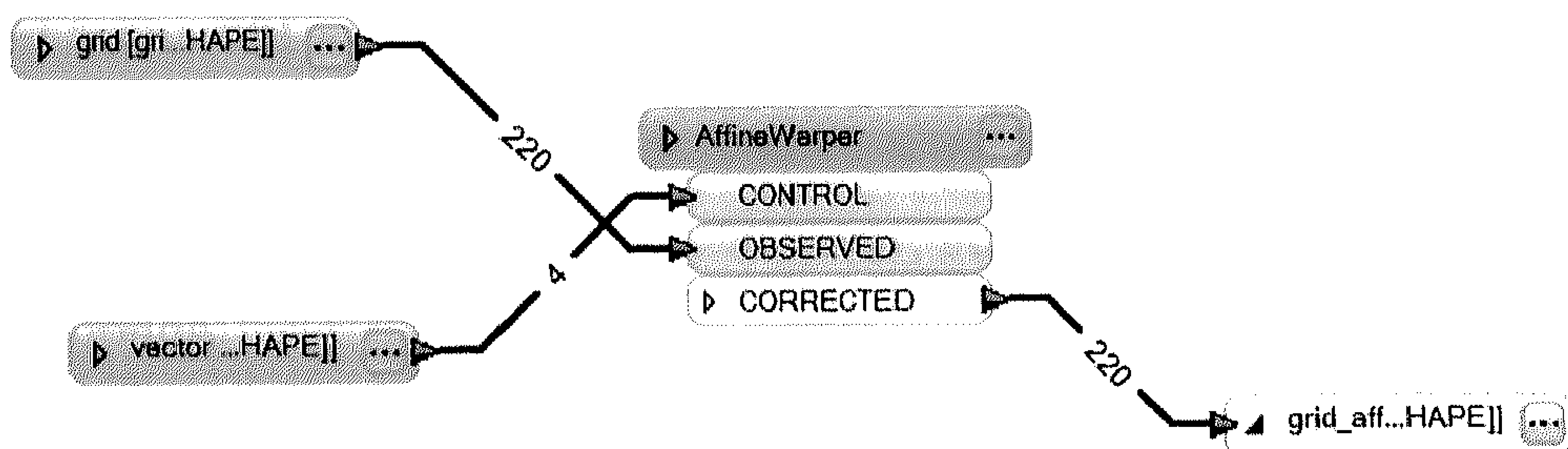
المثال التالي يوضح كيفية تدوير المحورين X وY بزاويتين مختلفتين؛ 30- و30 درجة على التوالي، مع إزاحة البيانات 100 متر على محور X فقط، وبدون تغيير حجم البيانات.

لاحظ أنه يمكن إظهار معادلة التحويل في أعلى المحوّل باستخدام الأمر Show Summary Annotation:



الشكل 5-42 التحويل المتصل باستخدام المحوّل Affiner في FME

يمكن تنفيذ التحويل المتصل في FME باستخدام محوّل آخر هو AffineWarper، وبدلاً من وسطاء التحويل يتطلب هذا المحول بيانات إضافية تسمى متّجهات تحكم (control vectors) تقابل وصلات الانزياح في ArcGIS. متّجهات التحكم هي خطوط تمثل نقاط البداية فيها نقاط تحكم المصدر وتمثل نقاط النهاية فيها نقاط تحكم الهدف. المثال التالي يبين تحويل البيانات في المثال السابق باستخدام أربعة متجهات تحكم مخزنة في الملف vectors.shp:

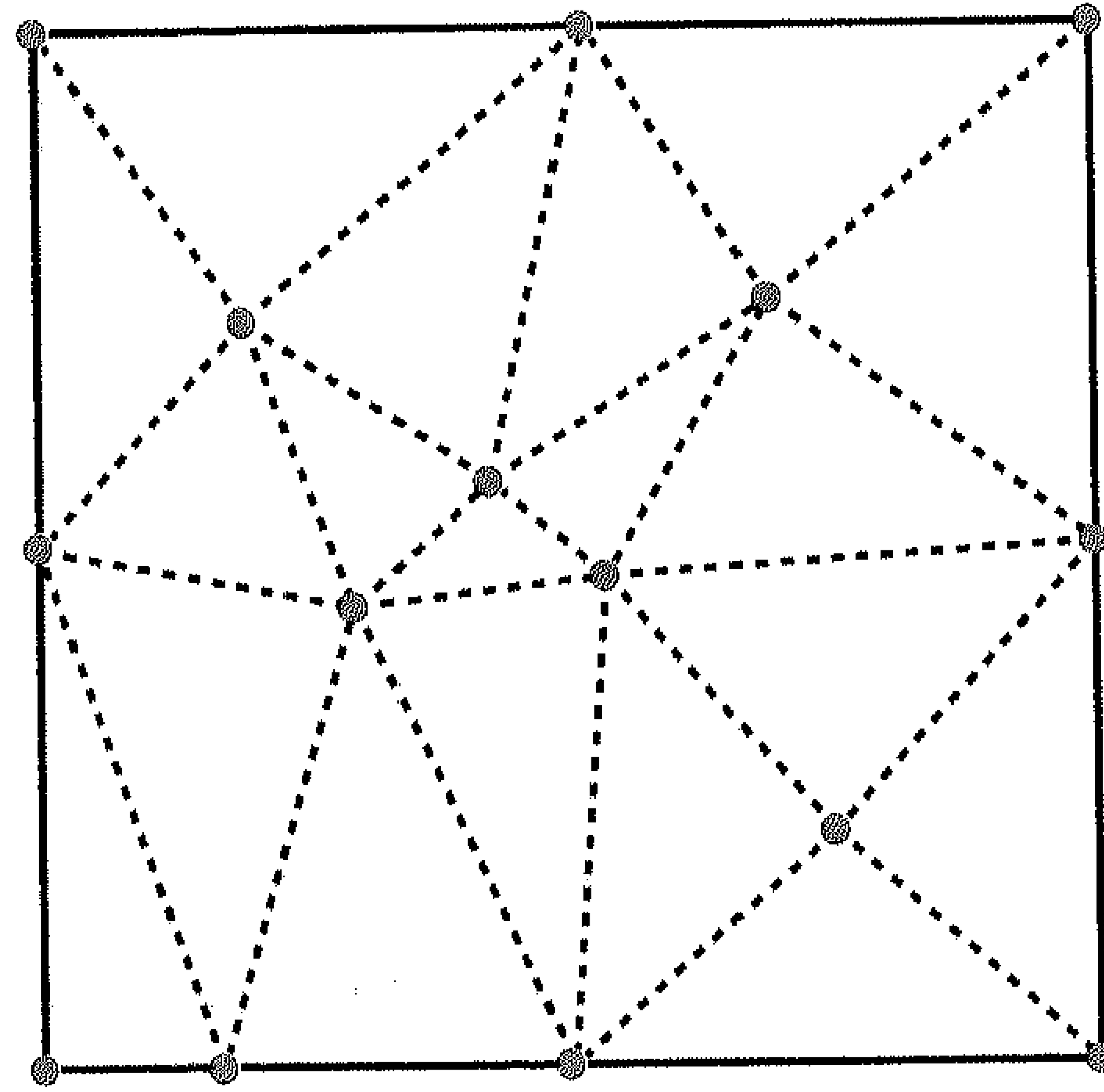


الشكل 5-43 التحويل المتصل باستخدام المحوّل AffineWarper في FME

.5.3.6 التصفيح المطاطي

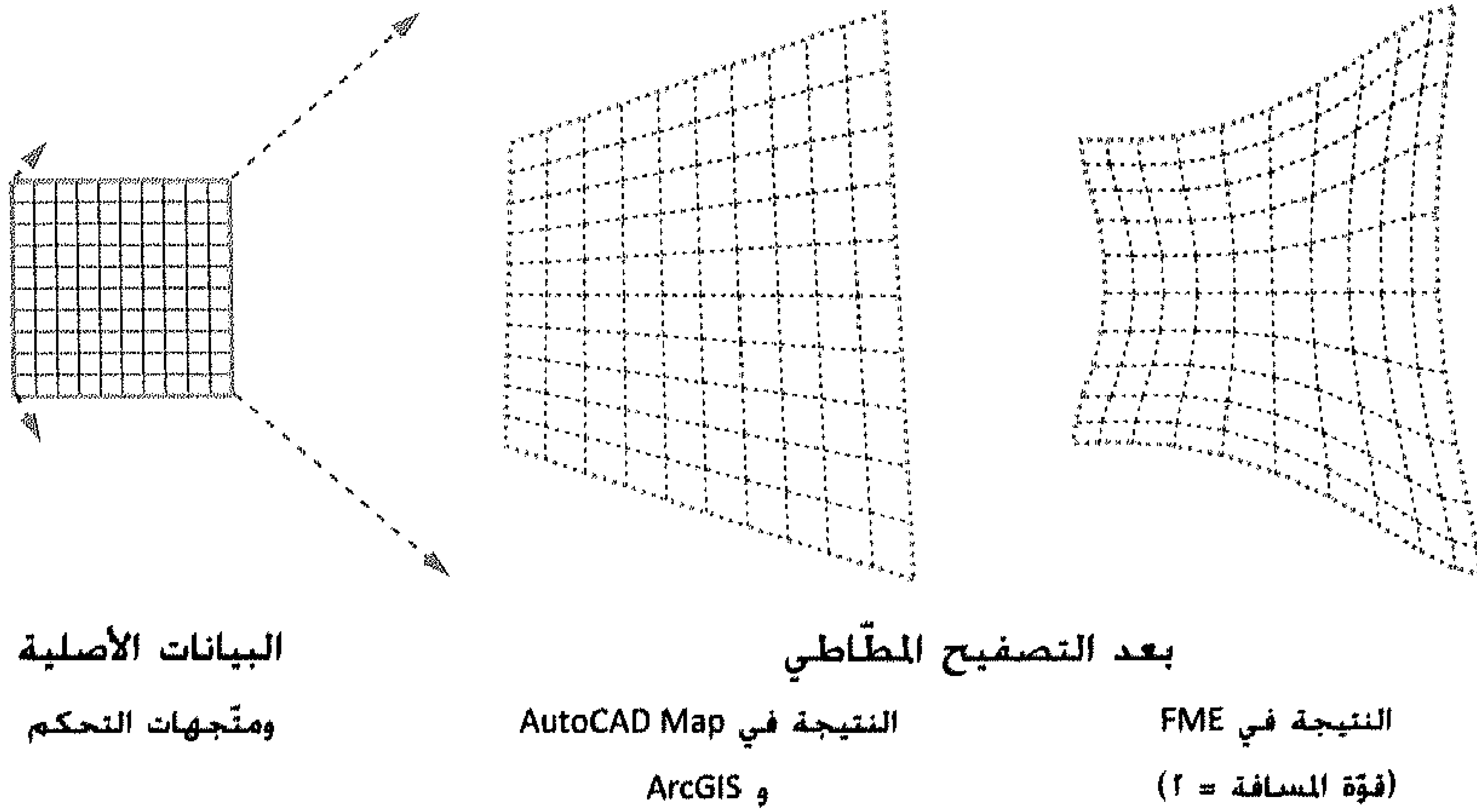
التصفيح المطاطي (rubbersheeting) في برمجيات التصميم بالحاسوب ونظام المعلومات الجغرافية هو أحد تطبيقات التحويل المتصل يتم فيه تنفيذ هذا النوع من التحويل باستخدام وسطاء تحويل مختلفة على أجزاء مختلفة من البيانات المكانية حسب التشوه الذي يعاني منه كل جزء من هذه البيانات، وذلك بدلاً من تطبيق تحويل واحد ذي وسطاء ثابتة على كامل البيانات.

إذا كان التشوه غير منتظم أو ثابت في جميع أجزاء البيانات المكانية يمكن استخدام التصفيح المطاطي وتعريف عدد كاف من نقاط التحكم المعروفة الإحداثيات في كلا النظامين المرجعيين للإحداثيات المصدر والهدف، مثل المعالم المشتركة وزوايا الأبنية ونقاط الشبكة الجيوديسية، وتوزيعها بصورة منتظمة على كامل مساحة البيانات، تقوم هذه البرمجيات بتجزئة البيانات إلى شبكة من المثلثات واستنتاج وسطاء التحويل لكل مثلث على حدة لتحويل الإحداثيات داخل كل مثلث، ولذلك يسمى التصفيح المطاطي **التحويل المتصل المجزّأ** (piecewise affine transformation).



الشكل 5-44 تجزئة البيانات المكانية إلى مثلثات في التصفيح المطاطي

تختلف نتائج التحويل بين برمجيات نظام المعلومات الجغرافية بصورة ملحوظة، وعندما يعمل التحويل بحيث تتأثر الكائنات المكانية التي تقع بالقرب من نقاط التحكم أكثر من الكائنات المكانية البعيدة عنها، تؤلف النقاط الواقعة على استقامة واحدة بعد تنفيذ التصفيح المطاطي أقواساً وليس خطوطاً. المثال التالي يبين الفرق بين كل من AutoCAD Map 3D وArcGIS من جهة وبين FME من جهة أخرى:



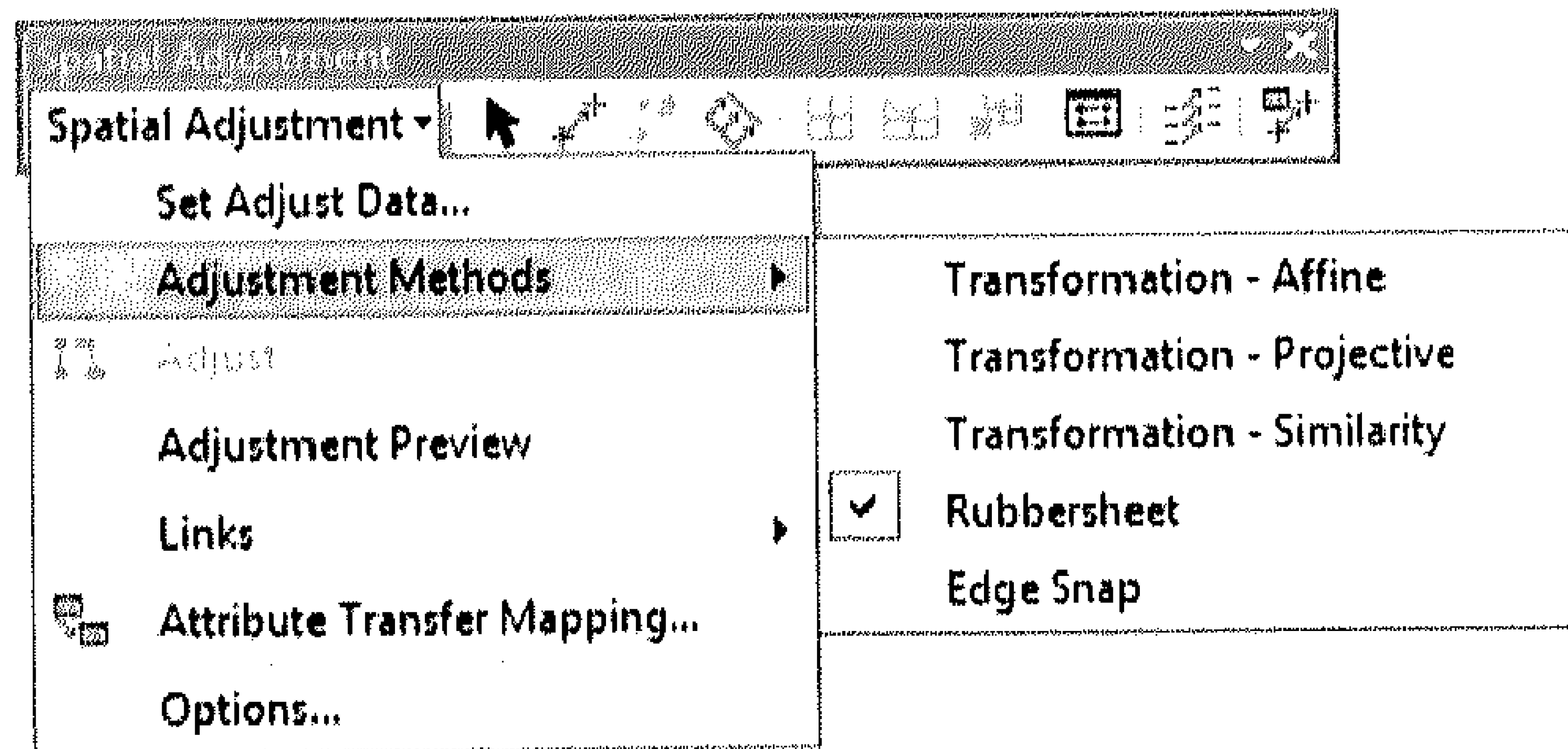
الشكل 5-45 اختلاف نتائج التصفيح المطاطي حسب برمجيات نظام المعلومات الجغرافية

يجب استخدام التصفيح المطاطي فقط في الحالات التي لا يمكن فيها مواءمة البيانات باستخدام طرق التحويل الأخرى، نظراً لأن هذا النوع من التحويلات يؤثر في دقة البيانات.



يُنفّذ التصفيح المطاطي في ArcGIS من خلال شريط أدوات الضبط المكاني (Spatial Adjustment) وانتقاء Rubbersheet من القائمة Adjustment Methods.

تُعرّف وصلات الانزياح وتنفيذ التحويل بذات الخطوات المذكورة سابقاً في تحويل التشابه، ويمكن أيضاً تحديد النقاط التي لا يرغب المستخدم في تأثرها أثناء عملية التحويل باستخدام الزر New Identity Link، كما يمكن حصر التحويل في منطقة معينة من خلال تحديدها بمضلع باستخدام الزر New Limited Adjustment Area.



الشكل 5-46 التصفيح المطاطي في شريط أدوات الضبط المكاني في ArcGIS

في ArcGIS يمكن أن يكون التصفيح المطاطي خطياً أو بالاعتماد على الجوار الطبيعي (natural neighbor)، ويمكن التحكم بذلك من خلال Options في قائمة شريط الأدوات. يوفر الخيار الخطي سرعة التنفيذ ويستخدم عند توفر عدد كاف من وصلات الإزاحة، بينما يستخدم الجوار الطبيعي عندما تكون نقاط التحكم قليلة ومتباعدة.

AutoCAD® Map 3D

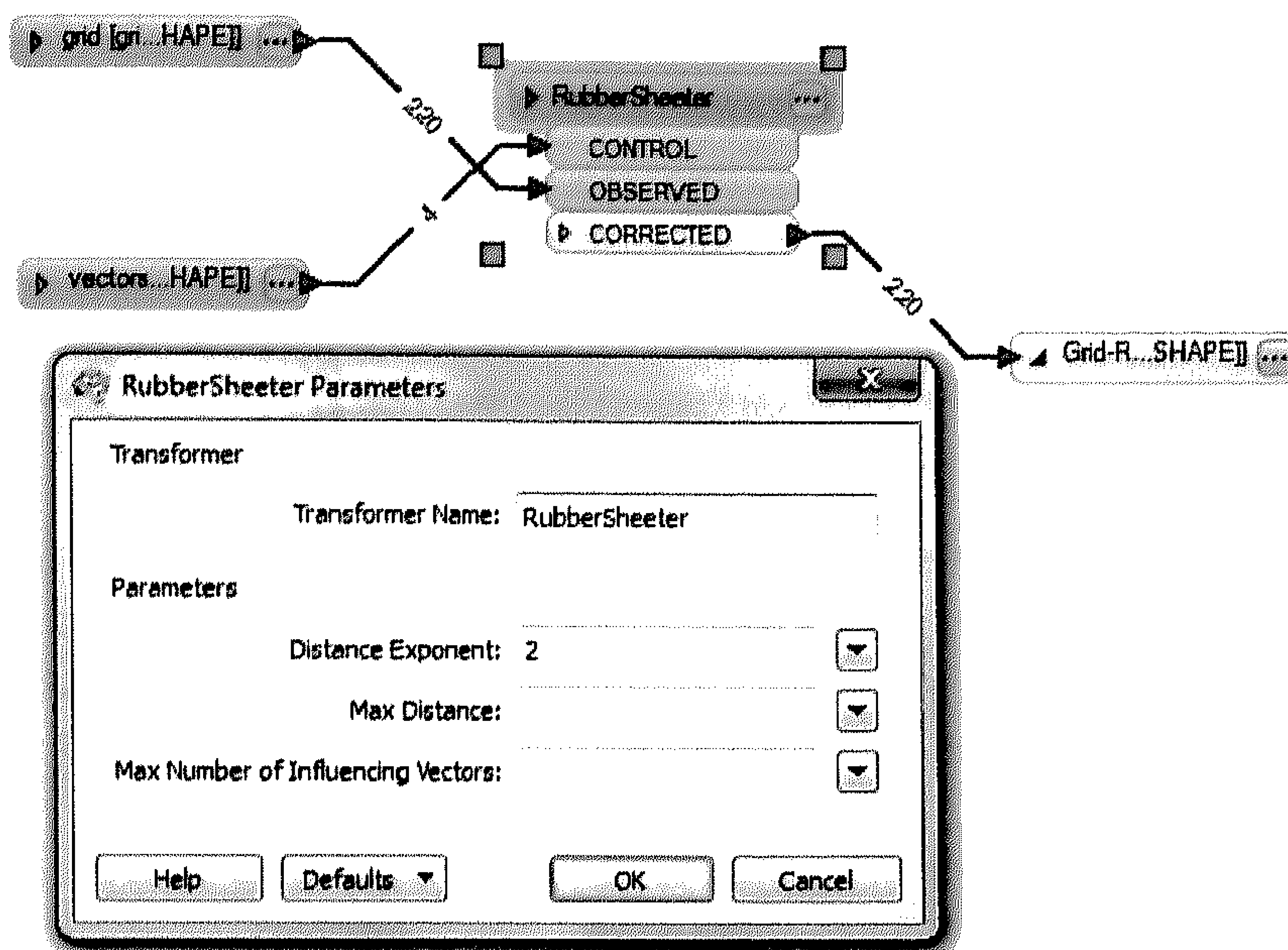
يقوم الأمر Rubber Sheet في AutoCAD Map 3D بتنفيذ التصفيح المطاطي بتحديد مجموعة من أزواج نقاط التحكم يتألف كل زوج منها من نقطة أساس (base point) ونقطة مرجعية (reference point)، وتُحدّد هذه النقاط باستخدام الفأرة أو بإدخال إحداثياتها في نافذة الأوامر.

Menu: Modify > Rubber Sheet
Ribbon: Tools > Map Edit > Rubber Sheet
Command: ADERSHEET

يتوفر في الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D أمر آخر يحمل الاسم ذاته، ولكنه يعمل على البيانات المتسامتة ويقوم بتنفيذ التحويل كثير الحدود (انظر 5.3.8 التحويل كثير الحدود).



يمكن تنفيذ التصفيح المطاطي في FME باستخدام المحوّل RubberSheeter. المثال التالي يبين تحويل البيانات بطريقة التصفيح المطاطي باستخدام أربعة متجهات تحكم مخزنة في الملف vectors.shp:



الشكل 5-47 التصفيح المطاطي باستخدام المحوّل RubberSheeter في FME

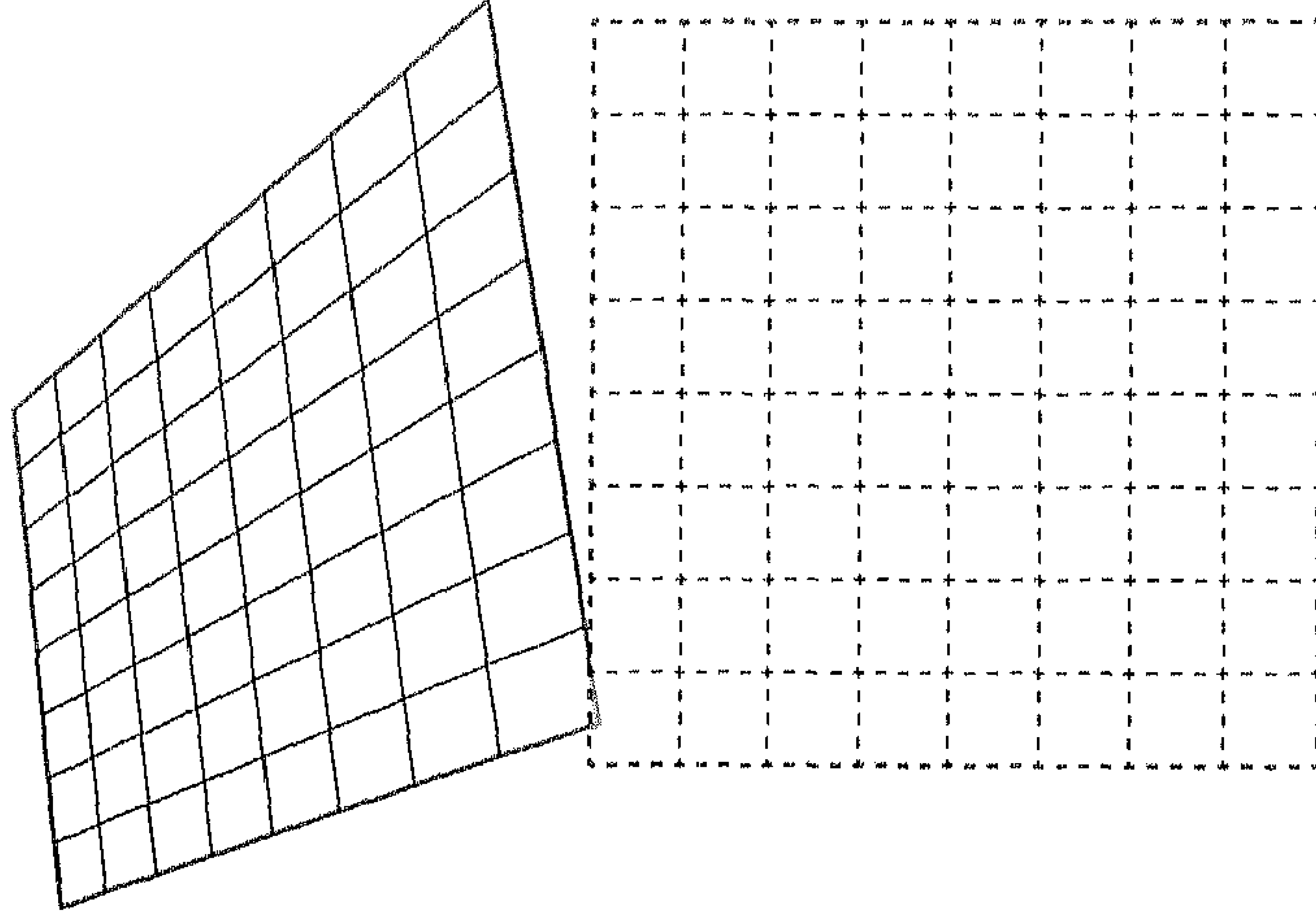
يسمح التصفيح المطاطي في FME بالتحكم بطريقة التحويل بصورة تفصيلية من خلال تحديد عدد من الوسطاء:

الوسيط	الوظيفة
قوّة المسافة (Distance Exponent)	يحدد الكيفية التي تتأثر بها قوة التصحيح بالمسافة بين متجه التحكم والنقطة المراد تصحيحها. القيمة 2 مثلاً تقلل من قوة التصحيح بالتناسب مع مربع المسافة بينهما.
المسافة القصوى (Max. Distance)	تحدد المسافة القصوى بين متجه التحكم والنقطة المراد تصحيحها لكي يؤثر فيها. النقاط الواقعة على مسافة أكبر من المسافة القصوى عن متجه لا تتأثر به.
العدد الأقصى للمتجهات المؤثِّرة (Max. Number of Influencing Vectors)	تحدد العدد الأقصى للمتجهات الواقعة بالقرب من نقطة والتي ستؤثر فيها أثناء تنفيذ التحويل.

الجدول 5-12 وسطاء التصفيح المطاطي في FME

.5.3.7 التحويل الإسقاطي

يتطلب **التحويل الإسقاطي** (projective transformation) تعريف أربعة أزواج من نقاط التحكم، ويعمل بطريقة مشابهة لأسلوب المنظور حيث يصار إلى إسقاط جملة الإحداثيات من مستوٍ على مستوٍ أخر، ما يسمح بمطّ البيانات بمقادير مختلفة على طول الإسقاط المنظوري.



الشكل 5-48 التحويل الإسقاطي

ArcGIS

يُنفّذ التحويل الإسقاطي في ArcGIS من خلال شريط أدوات الضبط المكاني (Spatial Adjustment) وانتقاء Projective - Transformation من القائمة Adjustment Methods.

تُعرّف وصلات الانزياح وتنفيذ التحويل بذات الخطوات المذكورة في تحويل التشابه.

AutoCAD® Map 3D

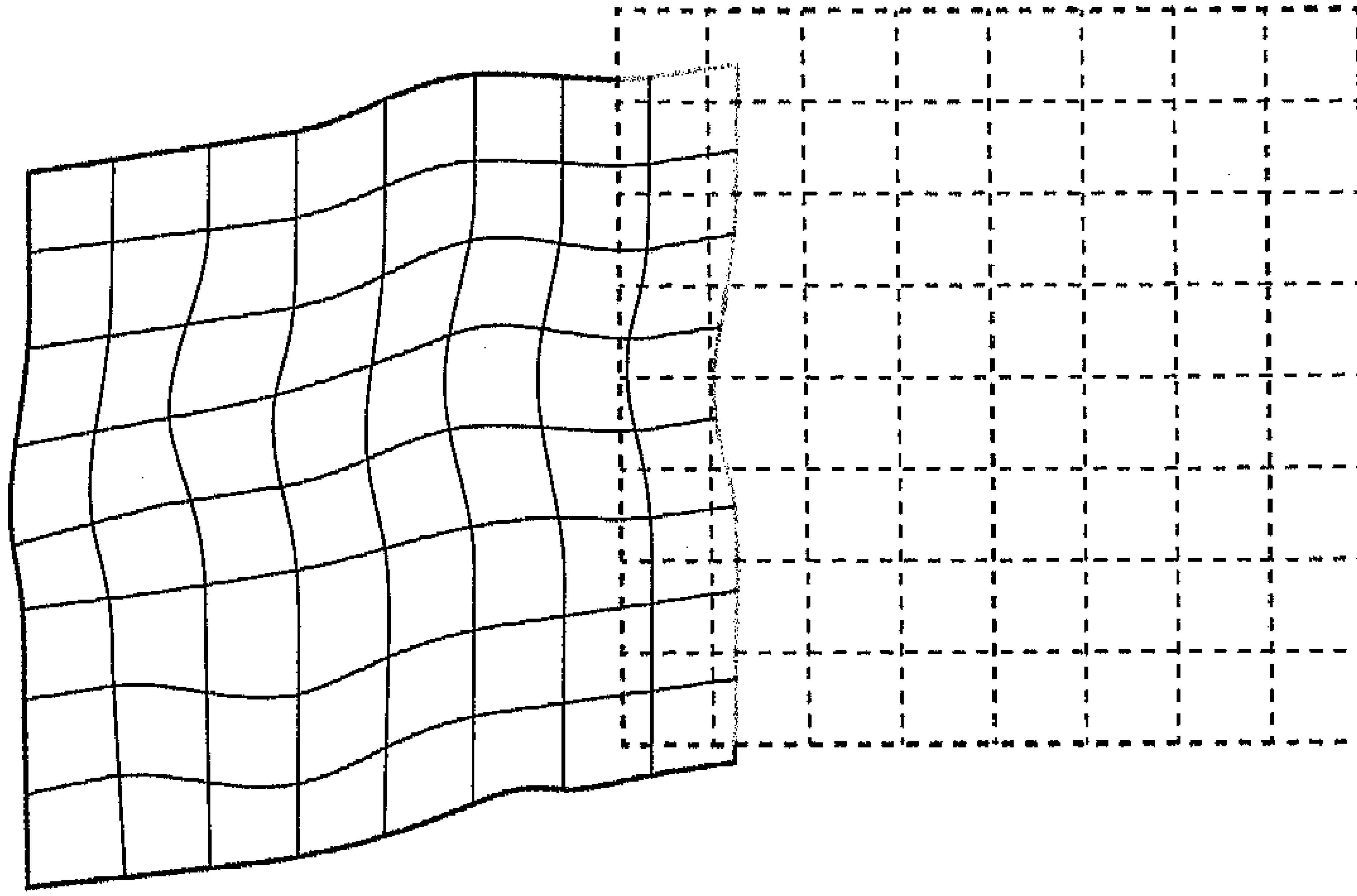
يدعم AutoCAD Map 3D التحويل الإسقاطي أثناء تهيئة المرقّم لاستخدامه في إنشاء خريطة رقمية من أخرى مطبوعة باستخدام الأمر TABLET (انظر 1.4.6 الترقيم).

ORACLE SPATIAL

يمكن في Oracle Spatial إسناد البيانات المتسامتة جغرافياً باعتماد التحويل الإسقاطي باستخدام الإجراء GEOREFERENCE في حزمة SDO_GEOR (انظر تعليمات الاستخدام في التحويل كثير الحدود).

5.3.8. التحويل كثير الحدود:

التحويل كثير الحدود (polynomial transformation) هو تحويل غير خطّي يربط بين نظامين للإحداثيات الديكارتية ثنائية الأبعاد من خلال نقل جملة الإحداثيات، وتدويرها، وتغيير حجمها تغييراً غير ثابت. يستخدم التحويل كثير الحدود في الحالات التي يعاني فيها أحد النظامين المرجعيين للإحداثيات أو كلاهما من عدم تجانس في اتجاه ومقياس جملة الإحداثيات.

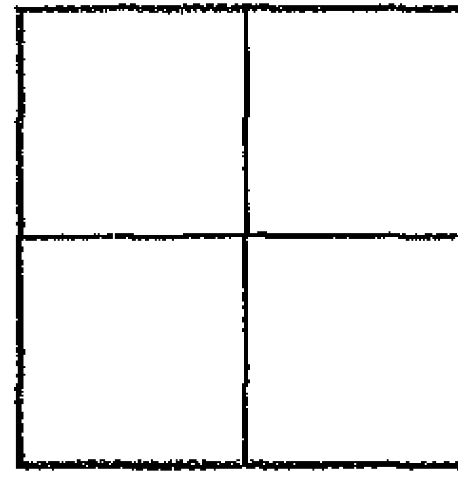


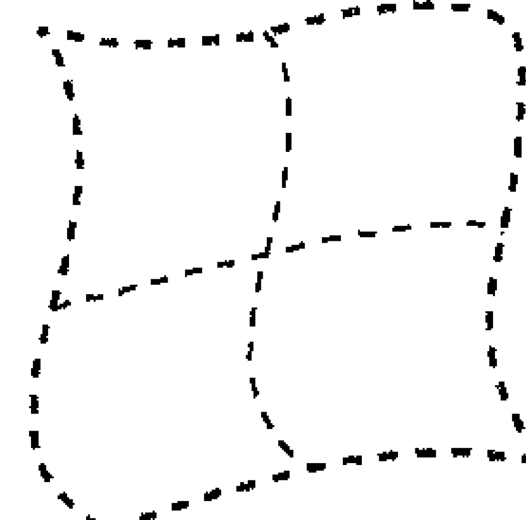
الشكل 5-49 التحويل كثير الحدود

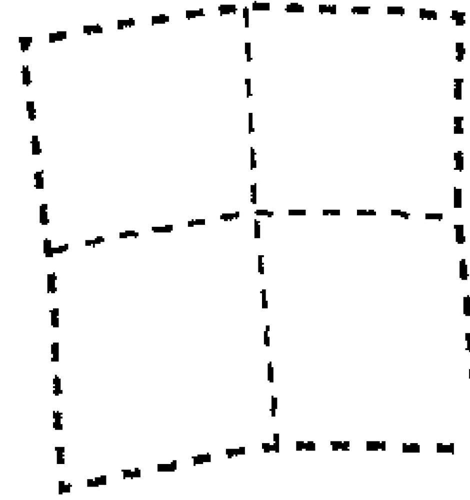
تستخدم التحويلات كثيرة الحدود في التحويل بين الأنظمة المرجعية للإحداثيات الجغرافية و**الإسناد الجغرافي** (georeferencing) لصور الأقمار الصناعية والصور الجوية أو لمطابقة البيانات المتجهة (vector data) التي لا تتطابق بصورة صحيحة وذلك من خلال مطّ أو كمش البيانات بحيث تحاذي بيانات أخرى عادة ما تكون أكثر دقة. الصورة الجوية التي تعاني من تشوهات غير موحّدة في المقياس – مثلاً – بسبب ميل الكاميرا أو طوبوغرافيا التضاريس يمكن تصحيحها تصحيحاً تقريبياً من خلال تحويل متعدد الحدود من درجة عالية (high-order). كما

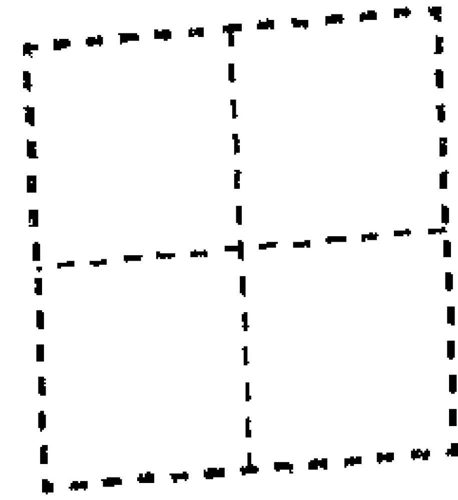
يمكن تصحيح ما حدث من إزاحة في بيانات الصورة بسبب التضاريس باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (digital elevation model: DEM).

يرمز إلى التحويل كثير الحدود في قاعدة بيانات EPSG حسب درجته وحسب عكوسيته، فيرمز له بالعملية 9645 على الإحداثيات إذا كان من الدرجة الثانية، وبالعملية 9646 إذا كان من الدرجة الثالثة، وبالعملية 9647 للدرجة الرابعة، ومن الدرجة السادسة بالعملية 9648. وإذا كان التحويل كثير الحدود عكوساً فيرمز له بالعملية 9649 على الإحداثيات إذا كان من الدرجة الثانية، وبالعملية 9650 إذا كان من الدرجة الثالثة، وبالعملية 9651 للدرجة الرابعة، وهكذا.









الشكل 5-50 الفرق بين التحويلات كثيرة الحدود من الدرجات الأولى (المتصل) والثانية والثالثة

لتحديد العدد الأدنى n من أزواج نقاط التحكم المطلوبة لتحويل كثير الحدود من الدرجة p:

$$n = \frac{((p + 1)(p + 2))}{2}$$

مثلاً، يتطلب التحويل كثير الحدود من الدرجة الأولى 3 أزواج من نقاط التحكم؛ ثلاث نقاط معروفة الإحداثيات في النظام المرجعي المصدر وثلاث نقاط معروفة الإحداثيات في النظام المرجعي الهدف، والرابعة 15 زوجاً، والسادسة 28 زوجاً من نقاط التحكم، وهكذا. كما تجدر الإشارة هنا إلى ضرورة استخدام عدد من أزواج نقاط التحكم أكبر من العدد الأدنى المطلوب وذلك لرفع جودة التحويل.

يفيد هذا النوع من التحويل عندما تتطلب الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية تصحيحاً هندسياً منهجياً يمكن تمثيله بكثير حدود، حيث يمكن تحديد درجة كثير الحدود المناسبة حسب التشوه الذي تعاني منه البيانات، وبصورة عامة كلما ازداد تعقيد التشوه ازدادت درجة كثير الحدود المطلوب لتصحيحه، مع العلم أن الزيادة في درجة التحويل كثير الحدود تتطلب وقتاً أطول في معالجته في برامج نظام المعلومات الجغرافية.

يمكن كتابة معادلة التحويل كثير الحدود كما يلي:

$$X_T = X_S - X_{SO} + X_{TO} + \Delta X$$
$$Y_T = Y_S - Y_{SO} + Y_{TO} + \Delta Y$$

حيث:

X_T وY_T: الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

X_S وY_S: الإحداثيات مقيسةً على نظام الإحداثيات المصدر.

X_{SO} وY_{SO}: إحداثيات نقطة التقييم مقيسةً على نظام الإحداثيات المصدر. وهي نقطة تساعد على التحكم بقيم الإحداثيات في نظامي الإحداثيات المصدر والهدف، ويتم التوصل إلى ذلك بإيجاد قيمة إزاحة ومقياس للإحداثيات لنقطة التقييم بحيث لا تكون الإحداثيات صغيرة جداً أو كبيرة جداً لتسهيل التعامل وتفادي المشاكل التي قد تنتج من صغر أو كبر قيم الإحداثيات.

X_{TO} وY_{TO}: إحداثيات نقطة التقييم مقيسةً على نظام الإحداثيات الهدف.

ΔX: قيمة يتم حسابها من المعادلات كثيرة الحدود التالية حسب درجة المعادلة:

من الدرجة الثانية:

$$m_T\,\Delta X = A_0 + A_1U + A_2V + A_3U^2 + A_4U\,V + A_5V^2$$

من الدرجة الثالثة:

$$+ A_6U^3 + A_7U^2V + A_8U\,V^2 + A_9V^3$$

من الدرجة الرابعة:

$$+ A_{10}U^4 + A_{11}U^3V + A_{12}U^2V^2 + A_{13}UV^3 + A_{14}V^4$$

من الدرجة الخامسة:

$$+ A_{15}U^5 + A_{16}U^4V + A_{17}U^3V^2 + A_{18}U^2V^3 + A_{19}UV^4 + A_{20}V^5$$

من الدرجة السادسة:

$$+ A_{21}U^6 + A_{22}U^5V + A_{23}U^4V^2 + A_{24}U^3V^3 + A_{25}U^2V^4 + A_{26}UV^5 + A_{27}V^6$$

وΔY:

من الدرجة الثانية:

$$m_T\, \Delta Y = B_0 + B_1U + B_2V + B_3U^2 + B_4U\,V + B_5V^2$$

من الدرجة الثالثة:

$$+ B_6U^3 + B_7U^2V + B_8U\,V^2 + B_9V^3$$

من الدرجة الرابعة:

$$+ B_{10}U^4 + B_{11}U^3V + B_{12}U^2V^2 + B_{13}UV^3 + B_{14}V^4$$

من الدرجة الخامسة:

$$+ B_{15}U^5 + B_{16}U^4V + B_{17}U^3V^2 + B_{18}U^2V^3 + B_{19}UV^4 + B_{20}V^5$$

من الدرجة السادسة:

$$+ B_{21}U^6 + B_{22}U^5V + B_{23}U^4V^2 + B_{24}U^3V^3 + B_{25}U^2V^4 + B_{26}UV^5 + B_{27}V^6$$

حيث U وV الإحداثيات المختزلة لكل من X وY بالاستعانة بقيمة إزاحة وعامل مقياس للإحداثيات كما يلي:

$$U = m_S(X_S - X_{S0})$$
$$V = m_S(Y_S - Y_{S0})$$

وحيث m_S وm_T عاملا مقياس فرق الإحداثيات في نظامي الإحداثيات المرجعيين المصدر والهدف.

ملاحظة: في قاعدة بيانات EPSG تُمثّل معاملات كثير الحدود بوسطاء في الصيغة Aumvn وBumvn، حيث m قوة U وn قوة V. على سبيل المثال يُمثّل المعامل A_{11} بالوسيط Au3v1، والمعامل A_{24} بالوسيط Au3v3، وهكذا. يدل غياب المعامل في العملية المسجلة في قاعدة بيانات EPSG على أن قيمته صفر.

مشروع:

يراد تحويل نقطة في إيرلندة إحداثياتها في النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية TM75 الذي يرمز إليه في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 4300:

$$\phi_{TM75} = X_S = 55°00'00"N$$
$$\lambda_{TM75} = Y_S = 6°30'00"W$$

التحويل المطلوب إلى النظام المرجعي للإحداثيات الجغرافية ETRS89 الذي يرمز إليه في قاعدة بيانات EPSG بالرمز 2458، حيث وسطاء التحويل (عملية تحويل الإحداثيات رقم 1041 في قاعدة بيانات EPSG وهي تحويل كثير الحدود من الدرجة السادسة):

$$X_{SO} = 53°30'00.000"N = +53.5\,deg$$
$$Y_{SO} = 7°42'\,W = 7°42'00.000"W =- 7.7\,deg$$
$$X_{TO} = 53°30'\,N = 53°30'00.000"N = +53.5\,deg$$
$$Y_{TO} = 7°42'\,W = 7°42'00.000"W =- 7.7\,deg$$
$$m_S = 0.1, m_T = 3600$$
$$A_0 = 0.763, A_1 = -4.487, A_2 = 0.123, A_3 = 0.215,$$
$$A_4 = -0.515, A_5 = 0.183, A_6 = -0.265, A_7 = -0.57,$$
$$A_8 = 0.414, A_9 = -0.374, A_{11} = 2.852, A_{12} = 5.703,$$
$$A_{13} = 13.11, A_{17} = -61.678, A_{18} = 113.743, A_{24} = -265.898$$

مع ملاحظة أن قيم جميع المعاملات الأخرى غير المذكورة هنا تساوي صفراً.

$$B_0 = -2.81, B_1 = -0.341, B_2 = -4.68, B_3 = 1.196,$$
$$B_4 = -0.119, B_5 = 0.17, B_6 = -0.887, B_7 = 4.877,$$

$$B_8 = 3.913, B_9 = 2.163, B_{11} = -46.666, B_{12} = -27.795,$$
$$B_{13} = 18.867, B_{17} = -95.377, B_{18} = -284.294, B_{24} = -853.95$$

الحل:

$$X_S - X_{SO} = \varphi_{TM75} - \varphi_{S0} = 55.0 - 53.5 = 1.5\ deg$$
$$Y_S - Y_{SO} = \lambda_{TM75} - \lambda_{S0} = -6.5 - (-7.7) = 1.2\ deg$$
$$U = m_S(X_S - X_{S0}) = mS\ (\varphi_{TM75} - \varphi_{S0}) = 0.1 \times (1.5) = 0.15$$
$$V = m_S(Y_S - Y_{S0}) = mS\ (\lambda_{TM75} - \lambda_{S0}) = 0.1 \times (1.2) = 0.12$$
$$\Delta X = \frac{(A_0 + A_1U + \ldots + A_{24}U^3V^3)}{m_T}$$
$$= \frac{(0.763 + (-4.487 \times 0.15) + \ldots + (-265.898 \times 0.15^3 \times 0.12^3))}{3600}$$
$$= 0.0000297229$$
$$\Delta Y = \frac{(B_0 + B_1U + \ldots + B_{24}U^3V^3)}{m_T}$$
$$= \frac{(-2.81 + (-0.341 \times 0.15) + \ldots + (-853.95 \times 0.15^3 \times 0.12^3))}{3600}$$
$$= -0.0009491261$$

وبالتالي:

$$\varphi_{ETRS89} = X_T = X_S + \Delta X = 55.0 + 0.00002972 = 55°00'00.107''N$$
$$\lambda_{ETRS89} = Y_T = Y_S + \Delta Y = -6.5 - 0.00094913 = 6°30'03.417''W$$

مقارنة:

إلى جانب هذه العملية للتحويل بين النظامين المرجعيين TM75 وETRS89 المعتمدة على التحويل كثير الحدود من الدرجة السادسة تتوفر في قاعدة بيانات EPSG عملية أخرى على الإحداثيات للتحويل بين ذات النظامين المرجعيين، هي العملية رقم 1953، والمعتمدة على طريقة Helmert (انظر 5.2.1.2 طريقة Helmert). وللمقارنة مع نتائج التحويل كثير الحدود نقوم بتنفيذ طريقة Helmert لذات النقطة، حيث:

$$\Delta X = 482.5\,m$$
$$\Delta Y = -130.6\,m$$
$$\Delta Z = +380.8\,m$$
$$R_X = -1.042\,sec$$
$$R_Y = -0.214\,sec$$
$$R_Z = -0.631\,sec$$
$$\Delta S = 8.15\,ppm$$

نتيجة هذه العملية:

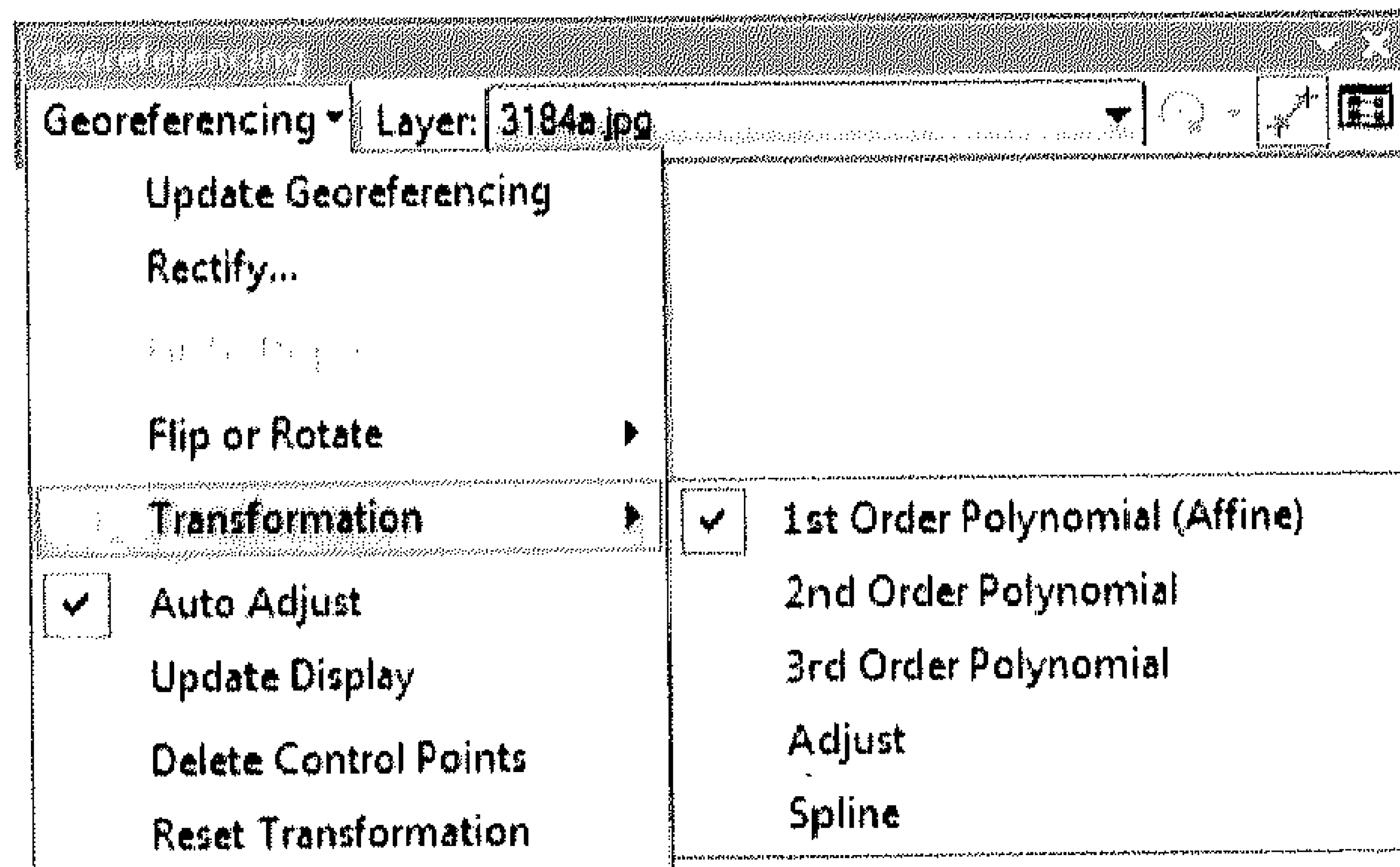
$$\varphi_{ETRS89} = 55.00018211 = 55°00'00.65"N$$
$$\lambda_{ETRS89} = 6.49736103 = 6°29'50.49"W$$

مع العلم أن دقة التحويل لهذه العملية المعتمدة على التحويل كثير الحدود 0.4 متر، ودقة التحويل للعملية الثانية المعتمدة على طريقة Helmert هي 1 متر.

 ArcGIS

يُنفّذ التحويل كثير الحدود في ArcGIS على البيانات المتسامتة (الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية أو الخرائط المسوحة) من خلال شريط أدوات الإسناد الجغرافي (Georeferencing).

بعد انتقاء طبقة البيانات المتسامتة المطلوب تحويلها في القائمة المنسدلة Layer في شريط الأدوات:



الشكل 5-51 شريط أدوات الإسناد الجغرافي في ArcGIS

يتم بعد ذلك انتقاء نوع التحويل من Transformation في قائمة شريط الأدوات:

نوع التحويل	الشرح
0 Order Polynomial (ArcGIS 10.1)	تحويل كثير الحدود من الدرجة صفر، يقوم بإزاحة البيانات فقط، ويستخدم مع البيانات المتسامتة التي لا تتطلب إسناداً جغرافياً بل يحتاج المستخدم إلى تحريكها قليلاً. يتطلب هذا التحويل زوجاً واحداً فقط من نقاط التحكم.
1st Order Polynomial (Affine)	تحويل كثير الحدود من الدرجة الأولى (تحويل متصل)، يحافظ على استقامة الخطوط ويتطلب ثلاثة أزواج من نقاط التحكم. هذا الإعداد هو الإعداد الافتراضي.
2r.d Order Polynomial	تحويل كثير الحدود من الدرجة الثانية يقوم بمواءمة بيانات تعاني من تشوه معقد نسبياً، ويتطلب تصحيحها انحناء البيانات المتسامتة.
3rd Order Polynomial	تحويل كثير الحدود من الدرجة الثالثة يقوم بمواءمة بيانات تعاني من تشوه أكثر تعقيداً.
Adjust	تحويل يحسن من الدقة الكلية والمحلية. يتم ذلك من خلال تنفيذ تحويل كثير الحدود أولاً، ومن ثم تعديل نقاط التحكم محلياً لتوائم بصورة أفضل نقاط تحكم الهدف باستخدام تقنية الاستكمال الداخلي وباعتماد شبكة من المثلثات غير المنتظمة بطريقة مشابهة للتصفيح المطاطي (انظر 5.3.6 التصفيح المطاطي). يتطلب هذا التحويل ثلاثة أزواج من نقاط التحكم.
Spline	تحويل يحسن من الدقة المحلية فقط، ويسمح لنقاط تحكم المصدر أن توائم نقاط تحكم الهدف بدقة، لكن البكسلات الواقعة بين نقاط تحكم المصدر والهدف تتعلق دقة تحويلها ببعدها عن نقاط التحكم، حيث تنخفض الدقة كلما ازدادت المسافة. يتطلب هذا التحويل 10 أزواج من نقاط التحكم.
Projective (ArcGIS 10.1)	تحويل يحافظ على استقامة الخطوط ولكن الخطوط المتوازية لا تبقى كذلك بعد التحويل. يناسب هذا التحويل بعض منتجات الصور المتسامتة مثل Landsat وDigital Globe ويتطلب أربعة أزواج من نقاط التحكم (انظر 5.3.7 التحويل الإسقاطي).

الجدول 5-13 أنواع التحويل في شريط أدوات الإسناد الجغرافي في ArcGIS

تُعرّف أزواج نقاط التحكم من خلال إنشاء العدد المطلوب من وصلات الانزياح باستخدام الزر Add Control Points في شريط أدوات الإسناد الجغرافي. يمكن معاينة التحويل قبل تنفيذه من خلال نافذة Update Display، بالإضافة إلى معاينة الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع (RMSE) من جدول الوصلات بالنقر على الزر View Link Table في شريط الأدوات. بعد الانتهاء من تعريف وصلات الانزياح يمكن تحويل البيانات بالنقر فوق Rectify في قائمة شريط الأدوات.

يمكن تصحيح الصور باستخدام الأداة Wrap في ArcToolbox بذات الطريقة التي يتم فيها التصحيح باستخدام الأمر Rectify في شريط الأدوات:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Raster > Wrap

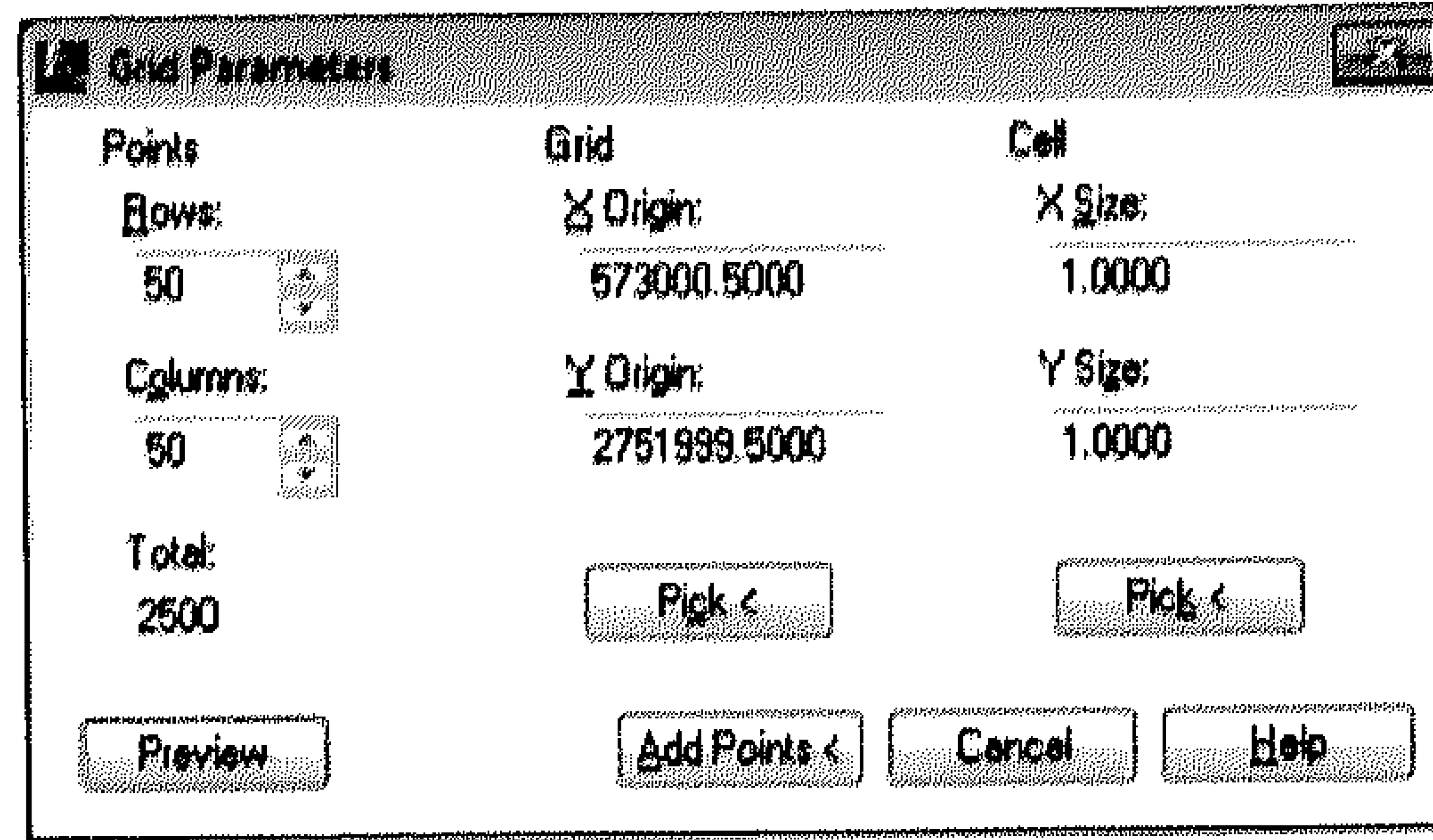
AutoCAD® Map 3D

يضيف الملحق Raster Design في AutoCAD Map 3D ميزة التحويل كثير الحدود للصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية الخ باستخدام الأمر Rubber Sheet من مجموعة Raster Tools، وهو غير الأمر Rubber Sheet في مجموعة Map Edit.

Ribbon: Raster Tools > Correlate > Rubber Sheet
Command: IRSHEET

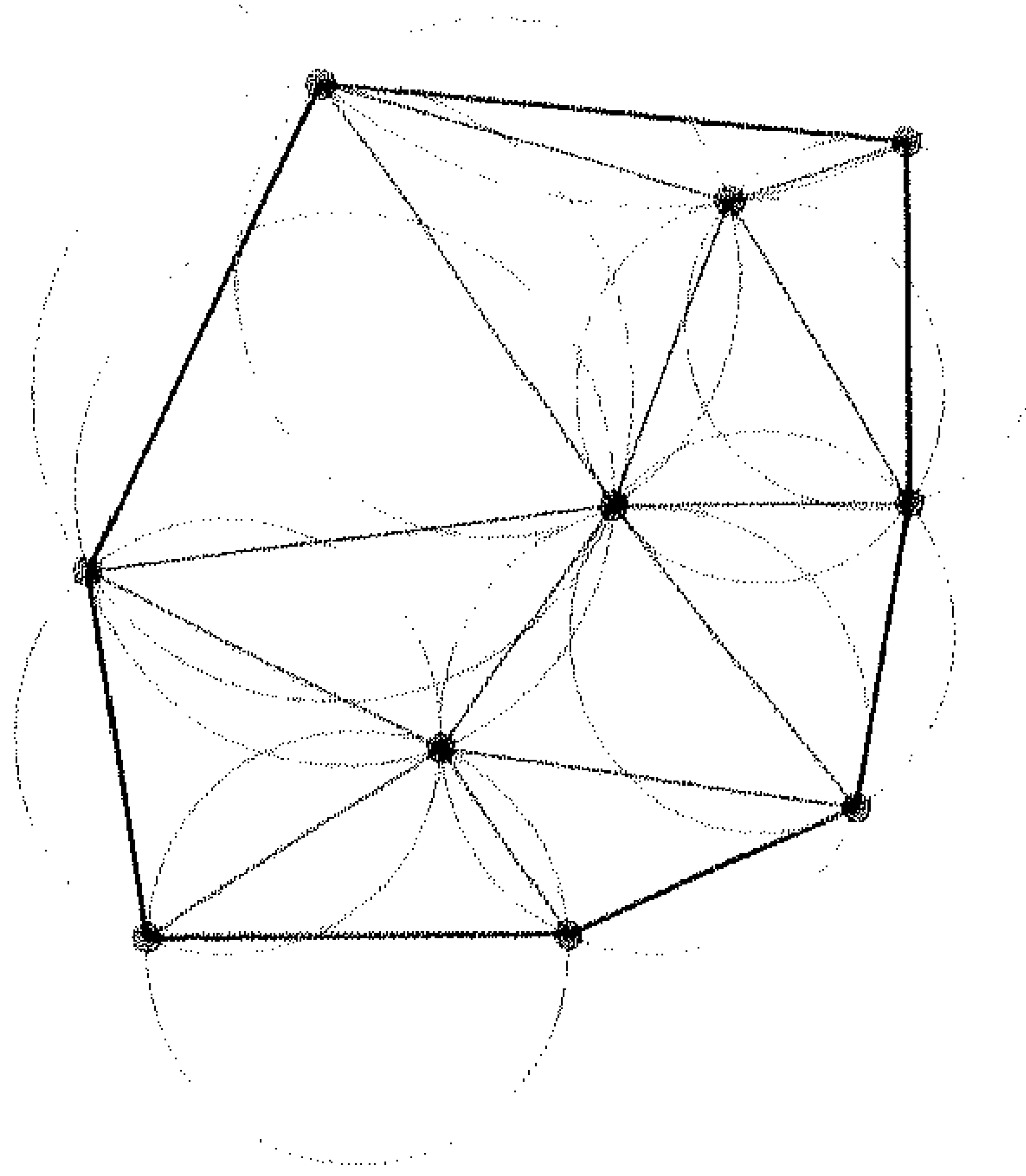
يمكن تعريف نقاط التحكم بالنقر فوق الزر Add Points، كما يمكن إنشاء شبكة مساعدة من نقاط تحكم المصدر في AutoCAD Map 3D بطريقة تلقائية بالنقر على الزر Grid Points وتعريف زاوية الصورة وحجم الخلية وعدد الصفوف والأعمدة. بعد ذلك يقوم البرنامج برسم هذه الشبكة فوق الصورة ويحث المستخدم على تحديد نقاط تحكم الهدف تباعاً لكل نقطة من نقاط شبكة نقاط تحكم المصدر. ويمكن الاستفادة من هذه الميزة عندما يكون لدينا مجموعة معروفة من نقاط تحكم الهدف التي تصنع فيما بينها شبكة مناظرة للشبكة التي ينشئها البرنامج.

يدعم البرنامج طريقتين لتحويل الصورة هما المثلثة (triangular) وكثيرة الحدود، ويمكن معاينة الأخطاء المتبقية والخطأ متوسط التربيع (RMSE) في صندوق الحوار قبل تنفيذ التحويل:



الشكل 5-52 إنشاء شبكة من نقاط تحكم المصدر تلقائياً في **AutoCAD Map 3D**

تعتمد الطريقة المثلثة على **تثليث ديلوني** (Delaunay Triangulation) التي تقوم بإنشاء شبكة من المثلثات بين نقاط التحكم التي يدخلها المستخدم. تتميز الشبكة الناتجة من تثليث ديلوني بإمكانية رسم دائرة مارة برؤوس أي من المثلثات التي تنشأ من دون أن يقع أي رأس من رؤوس مثلث آخر داخل هذه الدائرة كما في الشكل:



الشكل 5-53 تثليث ديلوني

يتم تحويل كل منطقة مثلثة الشكل بشكل منفصل، ولذلك تُعدّ هذه الطريقة أكثر دقة من طريقة التحويل متعدد الحدود، إلا إنها تعاني من عيب كبير هو إمكانية فقدان بعض بيانات الصورة، إذ يُعرّف الجزء الذي يتم تحويله من الصورة والمسمى الغلاف المحدّب (convex hull) من النقاط الواقعة في أطراف شبكة المثلثات فقط بينما يتم تجاهل بيانات الصورة خارجه. ويمكن المحافظة على أكبر جزء من الصورة بتعريف نقاط تحكم تقع على حدود الصورة.

تعمل طريقة التحويل كثير الحدود بطريقة شبيهة بالخطوات المبينة في برنامج ArcGIS، ولكن AutoCAD Map 3D يدعم التحويل كثير الحدود حتى الدرجة الخامسة.

Rubbersheet - Set Control Points

Method

Triangular

Polynomial 2 Degree

ID	Error	Source Point	Destination Point
1	0.9795	573000.0000, 2752000.3536	573000.0000, 2752011.0328
2	3.0979	573707.0000, 2752000.3536	573721.2886, 2752013.4697
3	3.1764	573000.0000, 2751000.3536	572975.2092, 2750985.1029
4	0.4019	573707.0000, 2751000.3536	573721.2886, 2750977.7922
5	17.8250	573423.8321, 2751589.4512	573431.1466, 2751604.0725
6	6.0814	573336.0580, 2751518.7814	573328.7435, 2751509.0338
7	4.7622	573189.7679, 2751601.6356	573177.5771, 2751608.9463
8	8.2475	573282.4183, 2751323.8303	573275.1038, 2751297.0246

Add Points < | Grid Points... | Delete | Repick < | Zoom To < | Preview | Import... | Export...

Auto zoom

Total RMS error: 7.6340

OK | Cancel | Help

الشكل 5-54 الأمر Rubber Sheet من مجموعة Raster Tools في AutoCAD Map 3D

ORACLE SPATIAL

يمكن في Oracle Spatial تحويل البيانات المتسامتة باعتماد التحويل كثير الحدود باستخدام البرنامج الفرعي GEOREFERENCE في حزمة SDO_GEOR. يتم تخزين معلومات التحويل في كائن من النوع SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE. تدل السمة (attribute) الأولى في هذا الكائن FFMethodType على طريقة التحويل:

القيمة	الشرح
Affine	تحويل متصل، ويتطلب على الأقل 3 أزواج من أزواج نقاط التحكم.
QuadraticPolynomial	تحويل كثير الحدود من الدرجة الثانية. يتطلب هذا التحويل 6 أزواج من أزواج نقاط التحكم.
CubicPolynomial	تحويل كثير الحدود من الدرجة الثالثة. يتطلب هذا التحويل 10 أزواج من أزواج نقاط التحكم.
DLT	التحويل الخطي المباشر (Direct Linear Transformation) هو تحويل إسقاطي (انظر 5.3.7 التحويل الإسقاطي) يتطلب 7 أزواج من أزواج نقاط التحكم.

QuadraticRational	تحويل كسري من الدرجة الثانية (تحويل يمكن كتابته في صورة نسبة بين تحويلين كثيري الحدود من الدرجة الثانية). يتطلب هذا التحويل 19 زوجاً من أزواج نقاط التحكم.
RPC	المعاملات كثيرة الحدود الكسرية (Rational Polynomial Coefficients) هي تحويل باستخدام نموذج رياضي يتم توفيره مع الصورة (غالباً صورة القمر الاصطناعي) ويتم باستخدام نموذج ارتفاعات رقمي (DEM). يتطلب هذا التحويل 39 زوجاً من أزواج نقاط التحكم.

الجدول 5-14 طرق تحويل البيانات المتسامتة في Oracle Spatial

يتم تخزين بيانات نقاط التحكم ومعلومات التحويل في ما وراء البيانات (metadata) للصورة، ويمكن في Oracle Spatial الاستعلام عن نقاط التحكم وتعديلها وحذفها باستخدام مجموعة من البرامج الفرعية سبق شرحها (انظر 5.3.1 انتقاء نقاط التحكم وتقييم دقة التحويل).

مشروع:

مطلوب تحويل بيانات متسامتة في Oracle Spatial تحويلاً كثير الحدود من الدرجة الثانية باستخدام مجموعة من نقاط التحكم (مبينة لاحقاً في الحل) لمنطقة في Massachusetts في الولايات المتحدة الأمريكية في الجدول MASSACHUSETTS_RASTER إذا كان معرّف هذه البيانات المتسامتة في الجدول المذكور هو 10 وأن البيانات في نظام NAD83 / Massachusetts Mainland:

الحل:

لتحويل البيانات المتسامتة في Oracle Spatial تحويلاً كثير الحدود من الدرجة الثانية نعلم أن معرّف النظام المرجعي للإحداثيات المسقطة NAD83 / Massachusetts Mainland هو 26986:

```
DECLARE
 g1 SDO_GEORASTER;
 georefModel SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE;
 GCPs SDO_GEOR_GCP_COLLECTION;
 rms sdo_number_array;

BEGIN
 SELECT georaster INTO g1 from MASSACHUSETTS_RASTER WHERE id=10 FOR UPDATE;

 GCPs := SDO_GEOR_GCP_COLLECTION(
```

```
  SDO_GEOR_GCP('1', '', 1,
    2, sdo_number_array(25.625000, 73.875000),
    2, sdo_number_array(237036.937500, 897987.187500),
  NULL, NULL),

  SDO_GEOR_GCP('2', '', 1,
    2, sdo_number_array(100.625000, 459.125000),
    2, sdo_number_array(237229.562500, 897949.687500),
  NULL, NULL),

  SDO_GEOR_GCP('3', '', 1,
    2, sdo_number_array(362.375000, 77.875000),
    2, sdo_number_array(237038.937500, 897818.812500),
  NULL, NULL),

  SDO_GEOR_GCP('4', '', 1,
    2, sdo_number_array(478.875000, 402.125000),
    2, sdo_number_array(237201.062500, 897760.562500),
  NULL, NULL),

  SDO_GEOR_GCP('5', '', 1,
    2, sdo_number_array(167.470583, 64.030686),
    2, sdo_number_array(237032.015343, 897916.264708),
  NULL, NULL),

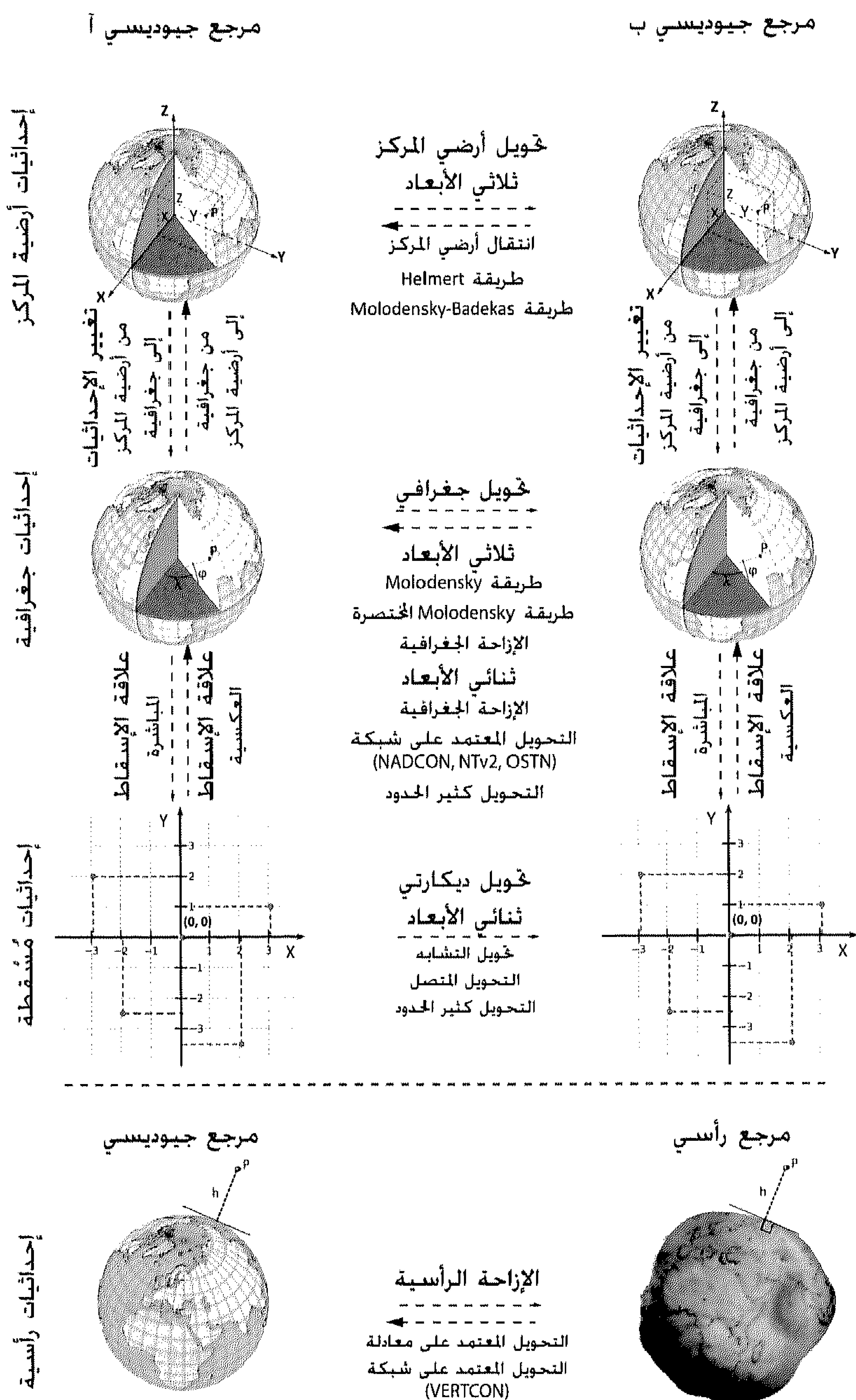
  SDO_GEOR_GCP('6', '', 1,
    2, sdo_number_array(101.456177, 257.915534),
    2, sdo_number_array(237128.957767, 897949.271912),
  NULL, NULL)
);

georefModel := SDO_GEOR_GCPGEOREFTYPE('QuadraticPolynomial', GCPs.count, GCPs,
NULL);

rms := sdo_geor.georeference(g1, georefModel, 'FALSE', 26986, 1);
UPDATE MASSACHUSETTS_RASTER SET georaster=g1 WHERE id=10;

COMMIT;
END;
/
```

5.4. ملخص العمليات على الإحداثيات



الشكل 5-55 ملخص العمليات على الإحداثيات

معجم المصطلحات: عربي - إنجليزي

أ

bearing	اتجاه
initial bearing	اتجاه ابتدائي
back bearing	اتجاه خلفي
service-level agreement: SLA	اتفاقية مستوى الخدمة
charge-coupled device: CCD	جهاز مزدوج الشحنة
coordinate	إحداثي
coordinates	إحداثيات
map coordinates	إحداثيات الخريطة
grid coordinates	إحداثيات تربيعية
plane coordinates	إحداثيات مستوية
projected coordinates	إحداثيات مسقطة
resampling	أخذ العينات
geocoder	أداة ترميز جغرافي
geoprocessing tool	أداة معالجة جغرافية
fleet management	إدارة الأساطيل
asset management	إدارة الأصول
mobile workforce management	إدارة القوى العاملة المتنقلة
customer relationship management: CRM	إدارة علاقات الزبائن
lowest astronomical tide: LAT	أدنى جزر فلكي
correlation	ارتباط
	ارتسام = إسقاط
height	ارتفاع
geoid height	ارتفاع الجيوئيد
ellipsoidal height	ارتفاع إهليلجي
orthometric height	ارتفاع أورثومتري
geodetic height	ارتفاع جيوديسي
sea surface height: SSH	ارتفاع سطح البحر
height above ellipsoid: HAE	ارتفاع فوق المجسّم الإهليلجي
gravity-related height	ارتفاع معتمد على الجاذبية
geocentric	أرضي المركز
translation, offset	إزاحة

geographic offset	إزاحة جغرافية
vertical offset	إزاحة رأسية
extract, transform, and load: ETL	استخراج وتحويل وتحميل
passive remote sensing	استشعار سلبي عن بعد
remote sensing: RS	استشعار عن بعد
active remote sensing	استشعار نشط عن بعد
interpolation	استكمال داخلي
bi-linear interpolation	استكمال داخلي ثنائي الخطية
celestial equator	استواء سماوي
equatorial	استوائي
cylindrical	أسطواني
projection	إسقاط، ارتسام، تسطيح
map projection	إسقاط الخريطة
cylindrical projection	إسقاط أسطواني
pseudocylindrical projection	إسقاط أسطواني زائف
analytical or non-perspective projection	إسقاط تحليلي أو غير منظوري
azimuthal projection	إسقاط سمتي
pseudoazimuthal projection	إسقاط سمتي زائف
non-perspective or analytical projection	إسقاط غير منظوري أو تحليلي
oblique stereographic projection	إسقاط مُجسِّم مائل
azimuthal stereographic projection	إسقاط مُجسِّم سمتي
authalic or equal-area or equiareal or equivalent projection	إسقاط مُساوي المساحة
equidistant projection	إسقاط مُساوي المسافة
gnomonic projection	إسقاط المِزْولة
azimuthal orthographic projection	إسقاط مُعامِد سمتي
stereographic projection	إسقاط مجسِّم
conical projection	إسقاط مخروطي
pseudoconical projection	إسقاط مخروطي زائف
polyconic projection	إسقاط مخروطي متعدد
central or centrographic	إسقاط مركزي
planar projection	إسقاط مستوي
conformal projection	إسقاط مُطابق
geometric or perspective projection	إسقاط هندسي أو منظوري
projective	إسقاطي
georeferencing	إسناد جغرافي

spatial referencing	إسناد مكاني
datum origin	أصل المرجع
native	أصيل
frame	إطار
terrestrial reference frame: TRF	إطار مرجعي أرضي
International Terrestrial Reference Frame: ITRF	إطار مرجعي أرضي دولي
surface reconstruction	إعادة إنشاء السطح
	التفاف تكعيبي = طَيّ تكعيبي
extension	امتداد
translation	انتقال، إزاحة
geocentric translation	انتقال أرضي المركز
shearing	انحراف
deflection of vertical, or, vertical deflection: VD	انحراف الشاقول أو انحراف الرأسي
standard deviation: σ	انحراف معياري
magnetic variation or declination	انحراف مغناطيسي
reflection	انعكاس
ellipsoidal	إهليلجي
planimetric	أفقي
orthometric	أورثومتري

ب

barometric	بارومتري
hydrographic	بحري أو مائي أو هيدروغرافي
pixel	بكسل
spatial data infrastructure: SDI	البنية التحتية للبيانات المكانية
bathymetric data	بيانات الأعماق
geospatial or spatial data	بيانات جيومكانية أو مكانية
aspatial or non-spatial data	بيانات غير مكانية
vector data	بيانات مُتَّجِهة
raster data	بيانات متسامِتة
spatial or geospatial data	بيانات مكانية أو جيومكانية
stilling well	بئر ترقيد

ت

multilateration or hyperbolic positioning	تثليث بالقطع الزائد

تثليث ديلوني	Delaunay triangulation
تجزئة الخريطة	map tiling
تجوال	pan
تحديد المواقع المعتمد على نقاط وصول إنترنت لاسلكية	wi-fi-based positioning
تحقيق	realization
تحليل الرؤية	viewshed analysis
تحويل الإحداثيات	coordinate transformation
تحويل التشابه	similarity transformation
تحويل إسقاطي	projective transformation
تحويل دوراني لإطار الإحداثيات	coordinate frame rotation transformation
تحويل كثير الحدود	polynomial transformation
تحويل مُتّصل	affine transformation
تحويل مُتّصل هندسي	affine geometric transformation
تحويل مُتّصل وسيطي	affine parametric transformation
تحويل مُطابِق	conformal transformation
تحويل متجه الموقع	position vector transformation
تحويل متصل مجزّأ	piecewise affine transformation
تداخل خط الأساس الطويل جداً	very long base-line interferometry: VLBI
تدوير	rotation
تذبذب الجيوئيد = تموّج الجيوئيد	
تراكب	overlay
ترقيم	digitizing
ترقيم قائم	heads-up digitizing
ترميز جغرافي	geocoding
ترويسة	header
تسطيح = إسقاط	
تسويق جيومكاني	geomarketing
تشوّه	distortion
تصحيح	correction
تصحيح الارتفاع	height correction
تصحيح عمودي	orthorectification
تصفيح مطاطي	rubbersheeting
تصميم بالحاسوب	computer aided design: CAD
تطبيق مكتبي	desktop application
تعميم	generalization
تغيير الإحداثيات	coordinate conversion

تفصيلي = عقاري	
تقريب/تبعيد	zoom
تقنيات جيومكانية أو مكانية	geospatial or spatial technologies
تكبير	enlargement
تكثيف	densification
تموّج الجيوئيد بالنسبة إلى نظام تحديد المواقع العالمي/التسوية	GPS/levelling geoid undulation
تموّج الجيوئيد، حيود الجيوئيد، تذبذب الجيوئيد	geoid undulation
توافقية	compatibility
توجيهي	turn-by-turn
توقيع طيفي	spectral signature
تيودوليت = مزواة	

ث

ثابت ومتمركز مع الأرض	earth-centered, earth-fixed: ECEF
ثانية	second
ثانية قوسية	arc-second: sec
ثلاثي محاور	tri-axial
ثنائي	binary
ثنائي الخطية	bi-linear

ج

جاذبية	gravity
الجار الأقرب	nearest neighbor
جغرافي	geographic
جلوناس	GLONASS
جهاز لوحي	tablets
جيوديسي	geodetic
جيوديسيا، جيوديزيا	geodesy
جيوماتيكس	Geomatics
جيومعلوماتية	Geoinformatics
جيومكاني	geospatial
جيوئيد، مجسّم أرضي	geoid
جيوئيدي	geoidal

ح

حاسبة الجيوئيد	geoid calculator
حيود الجيوئيد = تموّج الجيوئيد	

خ

خدمة تحويل الإحداثيات	coordinate transformation service (CTS)
خدمة تحويل الإحداثيات على ويب	web coordinate transformation service (WCTS)
خدمة على ويب	web service
خدمة معتمدة على الموقع	location-based service: LBS
خريطة	map
خريطة موضوعية	thematic map
خصيصة (مفرد خصائص)	property
خط الاتجاه الثابت	loxodrome or rhumb line
خط الزوال المرجعي الدولي	International Reference Meridian: IRM
خط زوال	meridian
خط زوال رئيسي	Prime Meridian
خط زوال مركزي	central meridian: CM
خط طول	line of longitude
خط عرض	line of latitude
خط قياسي	standard line
خط منسوب	contour
خطأ متبقي	residual or residual error
خطأ متوسط التربيع	root-mean-square error: RMSE
خطوط تساوي الارتفاع	isohypses or height contours
خطوط تساوي الأعماق	isobaths or depth contours
خلية، بكسل	cell
خلية الشبكة	grid cell
خوارزمية	algorithm

د

دائرة الاستواء	Equator
دائرة العرض المركزية	central parallel
دائرة عظمى	great circle
درجة (زاوية)	degree: deg
درجة (رتبة)	order
درجة أولى	1st order
الدرجة الدقيقة الثانية	degree minute second: DMS
درجة عالية	high-order
درجة عَشْرية	decimal degree: DD

دقة	accuracy
دقة المسافة	distance accuracy
دقة فرق الارتفاع	elevation difference accuracy
دقة مكانية	spatial accuracy
دقة موقعية	positional accuracy
دقة موقعية للبيانات الشبكية	gridded data position accuracy
دقة موقعية مطلقة أو خارجية	absolute or external positional accuracy
دقة موقعية نسبية أو داخلية	relative or internal positional accuracy
دقيقة	minute
دقيقة قوسية	arc-minute: min
دورة ميتونية	metonic cycle
ديكارتي	cartesian

ذ

ذكاء الأعمال	business intelligence: BI

ر

رادار	radio detection and ranging: RADAR
راديان	radian: rad
رأسي	vertical
رسم	drawing
رسم المدارات والتحديد الراديوي للمواقع بدوبلر المدمجة في القمر الاصطناعي	Doppler orbitography and radiopositioning integrated by satellite: DORIS
رسوم التصميم النهائي	final design drawings
رسوم طبق التنفيذ	as-built drawings
رصد متحرك في الوقت الحقيقي	Real Time Kinematic: RTK
رمز	code

ز

زاوية طول المبدأ الطبيعي	longitude of natural origin
زاوية طول فلكي	astronomical longitude
زاوية عرض المبدأ الطبيعي	latitude of natural origin
زاوية عرض مختصرة	reduced latitude
زاوية عرض فلكي	astronomical latitude
زماني	temporal

س

azimuthal	سَمتي
satellite laser ranging: SLR	سبر الأقمار الاصطناعية بالليزر
lunar laser ranging: LLR	سبر القمر بالليزر
sexagesimal	ستّوني
registry	سجلّ
point cloud	سحابة نقطية
velocity	سرعة
topographic surface	سطح طوبوغرافي
equi-potential surface	سطح متساوي الكمون
feature's attributes	سِمات المعالم
celestial	سماوي
attribute	سِمَة
azimuth	سَمْت
forward azimuth	سمت أمامي
backward azimuth	سمت خلفي
confidence level	سويّة ثقة

ش

map projection grid	شبكة إسقاط الخريطة
national geodetic network: NGN	شبكة جيوديسية وطنية
graticule	شبكة خطوط العرض والطول
cartographic grid	شبكة كارتوغرافية
quasi-geoid	شبه جيوئيد
gravity anomaly	شذوذ الجاذبية
easting	شرقيات
false easting: FE	شرقيات زائفة
status bar	شريط الحالة
source code	شفرة مصدرية
grid north	شمال تربيعي
geodetic north	شمال جيوديسي
true north	شمال حقيقي
magnetic north	شمال مغناطيسي
northing	شماليات
false northing: FN	شماليات زائفة
no objection certificate: NOC	شهادة عدم ممانعة

ص

صحيح الشكل	orthomorphic
صفيحة قارية	tectonic plate
صورة جوية	aerial photo
صورة مصححة عمودياً	orthophoto

ض

ضبط	precision

ط

طائرة بدون طيار	unmanned aerial vehicle: UAV
طريقة الوسطاء الثلاثة	three-parameter method
طريقة الوسطاء السبعة	seven-parameter method
طريقة الوسطاء العشرة	ten-parameter method
طريقة مولودينسكي المختصرة	Abridged Molodensky method
طريقة هندسية	geometric method
طوبوغرافي	topographic
طوبوغرافية سطح البحر	sea surface topography: SST
طول	longitude
طيّ تكعيبي، التفاف تكعيبي	cubic convolution

ع

عامل الحجم (بين مجسّمين)	scale factor
عامل المقياس (في الخريطة)	scale factor: SF
عائد على الاستثمار	return on investment: ROI
عدم تيقّن	uncertainty
عرض	latitude
عَشْري	decimal
عقاري، تفصيلي	cadastral
علاقة عكسية	inverse relation
علاقة مباشرة	direct relation
علامة تحكم	control mark
علامة سمت	azimuth mark
علامة منسوب أو نقطة تحكم رأسية	bench mark: B.M
عمق	depth
عمليات الأعمال	business operations
عملية مسَلْسَلة	concatenated operation

غ

غراد	grad, gon
غطاء أرضي	land cover
غلاف محدّب	convex hull

ف

فاصل	interval
فائق القصر	ultra-short
فرق الجيوئيد	geoid separation
فرق المرجع الرأسي	vertical datum separation
فلكي	astronomical
فن إعداد الخرائط	cartography
فوري	online
فئة	class

ق

قابل للنشر	developable
قابلية التشغيل المتبادل	interoperability
قاطع	secant
قاعدة بيانات جيومكانية	geodatabase
قائم	normal
قطب	pole
قطب مرجعي دولي	International Reference Pole: IRP
قطبي	polar
قطعة مربعة	tile
قمر اصطناعي	satellite
قياس الأعماق	bathymetry

ك

كارتوغرافي	cartographic
كائن	entity or object
كرة	sphere
كرة مُساوية المساحة	authalic sphere
كرة مُطابقة	conformal sphere
كومباس (نظام)	Compass

ل

لَيْدار	light detection and ranging: LIDAR
لا مكاني، غير مكاني	aspatial or non-spatial
لادار	laser detection and ranging: LADAR
لا مركزية، تباعد مركزي	eccentricity
لحظة	epoch
لحظياً	on the fly
لسان التبويب	tab
لغة ترميز نصّية	text markup language
لوح ترقيم	digitizing tablet

م

مَعْلَم	feature
مُتَّجِه	vector
مُتّصل	affine
مُجسّم إهليلجي دوراني	ellipsoid of rotation
مُجسّم إهليلجي	ellipsoid
مُرشِّح	filter
مُرقِّم	digitizer
مُسْقَط	projected
مُساوي المساحة	authalic
مُساوي المسافة	equidistant
مُستقبِل	receiver
مُسنَد جغرافياً	georeferenced
مُطابق	conformal
مُعرّف النظام المرجعي المكاني	spatial reference system identifier: SRID
مُنْتَشِر	propagated
مِزواة أو تيودوليت	theodolite
ما وراء البيانات	metadata
مائل	oblique
مبدأ طبيعي	natural origin
مبنيّ	built-in
متّجه تحكم	control vector
مُتسامِت	raster
متوسّط بسيط	simple average
متوسّط موزون	weighted average
متوسط منسوب البحر	mean sea level: MSL

مجسَّم أرضي = جيوئيد	
مجسَّم كروي	spheroid
محطة إرشاد	beacon
محطة، نقطة تحكم	station or control point
محطة تثليث	triangulation station
محطة تضليع	traverse station
محطة جاذبية	gravity station
محلي	local
محوِّل	transformer
محوِّل مخصَّص	custom transformer
مخروطي	conical
مخروطي متعدد	polyconic
مخطط الأعماق	bathymetric chart
مخطط هيدروغرافي أو مائي أو بحري	hydrographic chart
مربعات المائة كيلومتر	100,000-meter square
مَرْجِع	datum
مرجع جيوديسي	geodetic datum
مرجع رأسي	vertical datum
مرجع محلي	local datum
مساحة (علم)	surveying
مساحة بالقصور الذاتي	Inertial surveying
مساحة بحرية أو مائية	hydrographic surveying
مساحة تصويرية	photogrammetry
مساحة جيوديسية	geodetic surveying
مساحة طوبوغرافية	topographic surveying
مساحة عقارية أو تفصيلية	cadastral surveying
مساحة مائية أو بحرية	hydrographic surveying
مساحة مستوية	plane surveying
مساحة هندسية	engineering surveying
مسار أقصر (بين أي نقطتين على سطح الأرض)	orthodrome
مسار تسوية	leveling route
مستعرض	transverse
مستوٍ	plane
مَسح	scanning
مصدر	source
مطابقة	conformance

plumb line	مطمار أو خيط الشاقول
Laplace equation	معادلة لابلاس
geoprocessing	معالجة جغرافية
post processing	معالجة البيانات لاحقاً
calibration	معايرة
gravity-related	معتمد على الجاذبية
grid-based	معتمد على شبكة
equation-based	معتمد على معادلة
gazetteer	معجم جغرافي
geographic identifier	معرِّف جغرافي
geographic information	معلومات جغرافية
oblate	مفلطح
gravimeter	مقياس الجاذبية
map scale	مقياس الخريطة
tidal gauge or marigraph	مقياس المد والجزر
point scale	مقياس النقطة
radiometer	مقياس إشعاع
particular or actual scale	مقياس خاص، مقياس فعلي
principal scale	مقياس رئيسي
true scale	مقياس صحيح
small scale	مقياس صغير
	مقياس فعلي = مقياس خاص
large scale	مقياس كبير
spatial	مكاني
navigation	ملاحة
turn-by-turn navigation	ملاحة توجيهية
extension	ملحق
map file	ملف الخريطة
drawing file	ملف الرسم
world file	ملف العالم
sidecar file	ملف مُرافق
auxiliary file	ملف مساعد
tangent	مماس
scanned	ممسوح (ناتج من عملية مسح)
spatially enabled	ممكّن مكانياً
proprietary	مملوك (لشركة)

منصوب (مثبت على الأرض)	monumented
منطقة	zone
منطقة الشبكة	grid zone
منظر	aspect
منظر استوائي	equatorial aspect
منظر قائم	normal aspect
منظر مائل	oblique aspect
منظر مستعرض	transverse aspect
مواءمة	alignment
مواز قياسي	standard parallel
موازٍ	parallel
موقع عددي	numerical location
موقعي	positional
مؤسّسي	enterprise
مؤشِّر	puck
ميركاتور المستعرض العالمي	Universal Transverse Mercator: UTM
ميقاتية بحرية	marine chronometer

ن

ناظم (عمودي على سطح)	normal
ناظم أعظم	prime vertical
نجم الجُدَيّ	Polaris
نص معروف	well-known text: WKT
نصف الكرة	hemisphere
نصف قطر الانحناء	radius of curvature
نطاق عرضي	latitude band
نظام	system
نظام الإحداثيات المجسّم القطبي العالمي	Universal Polar Stereographic: UPS
نظام المعلومات الجغرافية	geographic information system: GIS
نظام إحداثيات	coordinate system: CS
نظام إحداثيات إهليلجية	ellipsoidal coordinate system
نظام إحداثيات جيوديسية	geodetic coordinate system
نظام إحداثيات ديكارتية	cartesian coordinate system
نظام إحداثيات رأسية	vertical coordinate system
نظام إحداثيات مرجعي	coordinate reference system: CRS
نظام إحداثيات معتمدة على الجاذبية	gravity-related coordinate system

نظام إسناد طولي	linear referencing system: LRS
نظام تحديد المواقع العالمي	global positioning system: GPS
نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي	differential global positioning system: DGPS
نظام تحديد المواقع العالمي المعزّز	assisted global positioning system: A-GPS or aGPS
نظام تحديد المواقع المحلي	local positioning system: LPS
نظام تحديد المواقع المعتمد على الشبكة	network based positioning
نظام تحديد المواقع داخل المباني	indoor positioning system: IPS
نظام دعم القرار المكاني	spatial decision support systems: SDSS
نظام عالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية	global navigation satellite system: GNSS
نظام مرجعي أرضي دولي	International Terrestrial Reference System: ITRS
نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية	geographic coordinate reference system: GeogCRS
نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية	vertical coordinate reference system: VertCRS
نظام مرجعي للإحداثيات الزمانية	temporal coordinate reference system
نظام مرجعي للإحداثيات المُسْقَطة	projected coordinate reference system: ProjCRS
نظام مرجعي للإحداثيات المركّبة	compound coordinate reference system: CCRS
نظام مرجعي للإحداثيات الهندسية	engineering coordinate reference system
نظام مرجعي للإحداثيات أرضية المركز	geocentric coordinate reference system
النظام المرجعي الجغرافي العالمي	world geographic reference system: GEOREF
النظام المرجعي للشبكة العسكرية	military grid reference system: MGRS
نقاط الارتفاعات المدققة	spot heights
نقطة إرساء المرجع	datum anchor point
نقطة أساس	base point
نقطة أولية	fundamental point or initial point
نقطة تحكم، محطة	control point or station
نقطة مرجعية	reference point
نموذج	model
نموذج ارتفاع رقمي	digital elevation model: DEM
نموذج الجيوئيد	geoid model
نموذج المدينة ثلاثي الأبعاد	3D city model
نموذج تضاريس رقمي	digital terrain model: DTM

نموذج سطح رقمي	digital surface model: DSM
نموذج محلي للجيوئيد	local geoid
نوع بيانات	data type

هـ

هاتف ذكي	smart phone
هدف	Target
هندسة المعالم	feature’s geometry
هيئة	format
هيئة ثنائية معروفة	well-known binary: WKB

و

وثب	snap
وسطاء	parameters
وسطاء الانتقال	translation parameters
وسطاء الدوران	rotation parameters
وسيط	parameter
وسيط تصحيح	correction parameter
وسيطي	parametric
وصلة انزياح	displacement link
وضوح أرضي	ground resolution
ويب ميركاتور	Web Mercator

معجم المصطلحات: إنجليزي - عربي

A

100,000-meter square	مربعات المائة كيلومتر
1st order	درجة أولى
3D city model	نموذج المدينة ثلاثي الأبعاد
Abridged Molodensky method	طريقة مولودينسكي المختصرة
absolute or external positional accuracy	دقة موقعية مطلقة أو خارجية
accuracy	دقة
active remote sensing	استشعار نشط عن بعد
actual or particular scale	مقياس فعلي أو خاص
aerial photo	صورة جوية
affine	مُتّصل
affine geometric transformation	تحويل مُتّصل هندسي
affine parametric transformation	تحويل مُتّصل وسيطي
affine transformation	تحويل مُتّصل
algorithm	خوارزمية
alignment	مواءمة
analytical or non-perspective projection	إسقاط تحليلي أو غير منظوري
arc-minute: min	دقيقة قوسية
arc-second: sec	ثانية قوسية
as-built drawings	رسوم طبق التنفيذ
aspatial or non-spatial	لا مكاني أو غير مكاني
aspatial or non-spatial data	بيانات لا مكانية أو غير مكانية
aspect	منظر
asset management	إدارة الأصول
assisted global positioning system: A-GPS or aGPS	نظام تحديد المواقع العالمي المعزّز
astronomical	فلكي
astronomical latitude	زاوية عرض فلكي
astronomical longitude	زاوية طول فلكي
attribute	سمة
authalic	مُساوي المساحة
authalic or equal-area or equiareal or	إسقاط مُساوي المساحة

equivalent projection	
authalic sphere	كرة مُساوية المساحة
auxiliary file	ملف مساعد
azimuth	سمت
azimuth mark	علامة سمت
azimuthal	سَمتي
azimuthal orthographic projection	إسقاط متعامد سمتي
azimuthal projection	إسقاط سمتي
azimuthal stereographic projection	إسقاط مُجسِّم سمتي

B

back bearing	اتجاه خلفي
backward azimuth	سمت خلفي
barometric	بارومتري
base point	نقطة أساس
bathymetric chart	مخطط الأعماق
bathymetric data	بيانات الأعماق
bathymetry	قياس الأعماق
beacon	محطة إرشاد
bearing	اتجاه
bench mark: B.M	علامة منسوب أو نقطة تحكم رأسية
bi-linear	ثنائي الخطية
bi-linear interpolation	استكمال داخلي ثنائي الخطية
binary	ثنائي
built-in	مبنيّة
business intelligence: BI	ذكاء الأعمال
business operations	عمليات الأعمال

C

cadastral	عقاري أو تفصيلي
cadastral surveying	مساحة عقارية أو تفصيلية
calibration	معايرة
cartesian	ديكارتي
cartesian coordinate system	نظام إحداثيات ديكارتية
cartographic	كارتوغرافي
cartographic grid	شبكة كارتوغرافية
cartography	فن إعداد الخرائط
celestial	سماوي

celestial equator	استواء سماوي
cell	خلية
central meridian: CM	خط زوال مركزي
central or centrographic	إسقاط مركزي
central parallel	دائرة العرض المركزية
charge-coupled device: CCD	جهاز مزدوج الشحنة
class	فئة
code	رمز
Compass	كومباس
compatibility	توافقية
compound coordinate reference system: CCRS	نظام مرجعي للإحداثيات المركّبة
Computer Aided Design: CAD	تصميم بالحاسوب
concatenated operation	عملية مُسَلْسَلة
confidence level	سوية ثقة
conformal	مُطابق
conformal projection	إسقاط مطابق
conformal sphere	كرة مطابقة
conformal transformation	تحويل مُطابِق
conformance	مطابقة
conical	مخروطي
conical projection	إسقاط مخروطي
contour	خط منسوب
control mark	علامة تحكم
control point or station	نقطة تحكم أو محطة
control vector	متّجه تحكم
convex hull	غلاف محدّب
coordinate	إحداثي
coordinate conversion	تغيير الإحداثيات
coordinate frame rotation transformation	تحويل دوراني لإطار الإحداثيات
coordinate reference system: CRS	نظام إحداثيات مرجعي
coordinate system: CS	نظام إحداثيات
coordinate transformation	تحويل الإحداثيات
coordinate transformation service (CTS)	خدمة تحويل الإحداثيات
coordinates	إحداثيات
correction	تصحيح

correction parameter	وسيط تصحيح
correlation	ارتباط
cubic convolution	طي أو التفاف تكعيبي
custom transformer	محوِّل مخصّص
customer relationship management: CRM	إدارة علاقات الزبائن
cylindrical	أسطواني
cylindrical projection	إسقاط أسطواني

D

data type	نوع بيانات
datum	مرجع
datum anchor point	نقطة إرساء المرجع
datum origin	أصل المرجع
decimal	عَشْري
decimal degree: DD	درجة عَشْرية
deflection of vertical, or, vertical deflection: VD	انحراف الشاقول أو انحراف الرأسي
degree minute second: DMS	الدرجة الدقيقة الثانية
degree: deg	درجة
Delaunay triangulation	تثليث ديلوني
densification	تكثيف
depth	عمق
depth contours or isobaths	خطوط تساوي الأعماق
desktop application	تطبيق مكتبي
developable	قابل للنشر
differential global positioning system: DGPS	نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي
digital elevation model: DEM	نموذج ارتفاع رقمي
digital surface model: DSM	نموذج سطح رقمي
digital terrain model: DTM	نموذج تضاريس رقمي
digitizer	مُرقِّم
digitizing	ترقيم
digitizing tablet	لوح الترقيم
direct relation	علاقة مباشرة
displacement link	وصلة انزياح
distance accuracy	دقة المسافة
distortion	تشوّه
Doppler orbitography and radiopositioning	رسم المدارات والتحديد الراديوي للمواقع بدوبلر المدمجة في

integrated by satellite: DORIS	القمر الاصطناعي
drawing	رسم
drawing file	ملف الرسم

E

earth-centered, earth-fixed: ECEF	ثابت ومتمركز مع الأرض
easting	شرقيات
eccentricity	لا مركزية، تباعد مركزي
elevation difference accuracy	دقة فرق الارتفاع
ellipsoid	مُجسَّم إهليلجي
ellipsoid of rotation	مُجسَّم إهليلجي دوراني
ellipsoidal	إهليلجي
ellipsoidal coordinate system	نظام إحداثيات إهليلجية
ellipsoidal height	ارتفاع إهليلجي
engineering coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات الهندسية
engineering surveying	مساحة هندسية
enlargement	تكبير
enterprise	مؤسسي
entity	كائن
epoch	لحظة
equal-area or equiareal or equivalent or authalic projection	إسقاط مُساوي المساحة
equation-based	معتمد على معادلة
Equator	دائرة الاستواء
equatorial	استوائي
equatorial aspect	منظر استوائي
equidistant	مُساوي المسافة
equidistant projection	إسقاط مُساوي المسافة
equi-potential surface	سطح متساوي الكمون
extension	امتداد
extension	ملحق
extract, transform, and load: ETL	استخراج وتحويل وتحميل

F

false easting: FE	شرقيات زائفة
false northing: FN	شماليات زائفة
feature	مَعْلَم
feature's attributes	سمات المعالم

feature's geometry	هندسة المعالم
filter	مُرشِّح
final design drawings	رسوم التصميم النهائي
fleet management	إدارة الأساطيل
format	هيئة
forward azimuth	سمت أمامي
frame	إطار
fundamental point	نقطة أولية

G

gazetteer	معجم جغرافي
generalization	تعميم
geocentric	أرضي المركز
geocentric coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات أرضية المركز
geocentric translation	انتقال أرضي المركز
geocoder	أداة ترميز جغرافي
geocoding	ترميز جغرافي
geodatabase	قاعدة بيانات جيومكانية
geodesy	جيوديسيا أو جيوديزيا
geodetic	جيوديسي
geodetic coordinate system	نظام إحداثيات جيوديسية
geodetic datum	مرجع جيوديسي
geodetic height	ارتفاع جيوديسي
geodetic north	شمال جيوديسي
geodetic surveying	مساحة جيوديسية
geographic	جغرافي
geographic coordinate reference system: GeogCRS	نظام مرجعي للإحداثيات الجغرافية
geographic identifier	معرّف جغرافي
geographic information	معلومات جغرافية
geographic information system: GIS	نظام المعلومات الجغرافية
geographic offset	إزاحة جغرافية
geoid	جيوئيد أو مجسّم أرضي
geoid calculator	حاسبة الجيوئيد
geoid height	ارتفاع الجيوئيد
geoid model	نموذج الجيوئيد
geoid separation	فرق الجيوئيد

geoid undulation	تموّج الجيوئيد، حيود الجيوئيد، تذبذب الجيوئيد
geoidal	جيوئيدي
Geoinformatics	جيومعلوماتية
geomarketing	تسويق جيومكاني
Geomatics	جيوماتيكس
geometric method	طريقة هندسية
geometric or perspective projection	إسقاط هندسي أو منظوري
geoprocessing	معالَجة جغرافية
geoprocessing tool	أداة معالجة جغرافية
georeferenced	مُسنَد جغرافياً
georeferencing	إسناد جغرافي
geospatial	جيومكاني
geospatial or spatial data	بيانات جيومكانية أو مكانية
geospatial technology	تقنيات جيومكانية
global navigation satellite system: GNSS	نظام عالمي للملاحة بالأقمار الاصطناعية
global positioning system: GPS	نظام تحديد المواقع العالمي
GLONASS	جلوناس
gnomonic projection	إسقاط المِزْولة
GPS/levelling geoid undulation	تموّج الجيوئيد بالنسبة إلى نظام تحديد المواقع العالمي/التسوية
grad, gon	غراد
graticule	شبكة خطوط العرض والطول
gravimeter	مقياس الجاذبية
gravity	جاذبية
gravity anomaly	شذوذ الجاذبية
gravity station	محطة جاذبية
gravity-related	معتمد على الجاذبية
gravity-related coordinate system	نظام إحداثيات معتمدة على الجاذبية
gravity-related height	ارتفاع معتمد على الجاذبية
great circle	دائرة عظمى
grid cell	خلية الشبكة أو البكسل
grid coordinates	إحداثيات تربيعية
grid north	شمال تربيعي
grid zone	منطقة الشبكة
grid-based	معتمد على شبكة
gridded data position accuracy	دقة موقعية للبيانات الشبكية
ground resolution	وضوح أرضي

H

header	ترويسة
heads-up digitizing	ترقيم قائم
height	ارتفاع
height above ellipsoid: HAE	ارتفاع فوق المجسّم الإهليلجي
height contours or isohypses	خطوط تساوي الارتفاع
height correction	تصحيح الارتفاع
hemisphere	نصف الكرة
high-order	درجة عالية
hydrographic	بحري أو مائي
hydrographic chart	مخطط هيدروغرافي أو مائي أو بحري
hydrographic surveying	مساحة بحرية أو مائية
hydrographic surveying	مساحة مائية أو بحرية
hydrography	مساحة مائية

I

indoor positioning system: IPS	نظام تحديد المواقع داخل المباني
Inertial surveying	مساحة بالقصور الذاتي
initial bearing	اتجاه ابتدائي
initial point	نقطة أولية
International Reference Meridian: IRM	خط الزوال المرجعي الدولي
International Reference Pole: IRP	قطب مرجعي دولي
International Terrestrial Reference Frame: ITRF	إطار مرجعي أرضي دولي
International Terrestrial Reference System: ITRS	نظام مرجعي أرضي دولي
interoperability	قابلية التشغيل المتبادل
interpolation	استكمال داخلي
interval	فاصل
inverse relation	علاقة عكسية
isobaths or depth contours	خطوط تساوي الأعماق
isohypses or height contours	خطوط تساوي الارتفاع

L

land cover	غطاء أرضي
Laplace equation	معادلة لابلاس
large scale	مقياس كبير
laser detection and ranging: LADAR	لادار

latitude	عرض
latitude band	نطاق عرضي
latitude of natural origin	زاوية عرض المبدأ الطبيعي
leveling route	مسار تسوية
light detection and ranging: LIDAR	لَيْدار
line of latitude	خط عرض
line of longitude	خط طول
linear referencing system: LRS	نظام إسناد طولي
local	محلي
local datum	مرجع محلي
local geoid	نموذج محلي للجيوئيد
local positioning system: LPS	نظام تحديد المواقع المحلي
location-based service: LBS	خدمة معتمدة على الموقع
longitude	طول
longitude of natural origin	زاوية طول المبدأ الطبيعي
lowest astronomical tide: LAT	أدنى جزر فلكي
loxodrome or rhumb line	خط الاتجاه الثابت
lunar laser ranging: LLR	سبر القمر بالليزر

M

magnetic north	شمال مغناطيسي
magnetic variation or declination	انحراف مغناطيسي
map	خريطة
map coordinates	إحداثيات الخريطة
map file	ملف الخريطة
map projection	إسقاط الخريطة
map projection grid	شبكة إسقاط الخريطة
map scale	مقياس الخريطة
map tiling	تجزئة الخريطة
marigraph or tidal gauge	مقياس المد والجزر
marine chronometer	ميقاتية بحرية
mean sea level: MSL	متوسط منسوب البحر
meridian	خط زوال
metadata	ما وراء البيانات
metonic cycle	دورة ميتونية
military grid reference system: MGRS	النظام المرجعي للشبكة العسكرية
minute	دقيقة

mobile workforce management	إدارة القوى العاملة المتنقلة
model	نموذج
monumented	منصوب (مثبت على الأرض)
multilateration or hyperbolic positioning	تثليث بالقطع الزائد

N

national geodetic network: NGN	شبكة جيوديسية وطنية
native	أصيل
natural origin	مبدأ طبيعي
navigation	ملاحة
nearest neighbor	الجار الأقرب
network based positioning	نظام تحديد المواقع المعتمد على الشبكة
no objection certificate: NOC	شهادة عدم ممانعة
non-perspective or analytical projection	إسقاط غير منظوري أو تحليلي
non-spatial or aspatial data	بيانات غير مكانية
normal	قائم (عمودي)
normal	ناظم (عمودي على سطح)
normal aspect	منظر قائم
northing	شماليات
numerical location	موقع عددي

O

object	كائن
oblate	مفلطح
oblique	مائل
oblique aspect	منظر مائل
oblique stereographic projection	إسقاط مُجسّم مائل
on the fly	لحظياً
online	فوري
order	درجة
orthodrome	مسار أقصر (بين أي نقطتين على سطح الأرض)
orthometric	أورثومتري
orthometric height	ارتفاع أورثومتري
orthomorphic	صحيح الشكل
orthophoto	صورة مصححة عمودياً
orthorectification	تصحيح عمودي
overlay	تراكب

P

pan	تجوال
parallel	موازي
parameter	وسيط
parameters	وسطاء
parametric	وسيطي
particular or actual scale	مقياس خاص أو فعلي
passive remote sensing	استشعار سلبي عن بعد
perspective or geometric projection	إسقاط منظوري أو هندسي
photogrammetry	مساحة تصويرية
piecewise affine transformation	تحويل متصل مجزأً
pixel	بكسل
planar projection	إسقاط مستوي
plane	مستوٍ
plane coordinates	إحداثيات مستوية
plane surveying	مساحة مستوية
planimetric	أفقي
plumb line	مطمار أو خيط الشاقول
point cloud	سحابة نقطية
point scale	مقياس النقطة
polar	قطبي
polar aspect	منظر قطبي
Polaris	نجم الجُدَيّ
pole	قطب
polyconic	مخروطي متعدد
polyconic projection	إسقاط مخروطي متعدد
polynomial transformation	تحويل كثير الحدود
position vector transformation	تحويل متجه الموقع
positional	موقعي
positional accuracy	دقة موقعية
post processing	معالجة البيانات لاحقاً
precision	ضبط
prime	رئيسي
Prime Meridian	خط زوال رئيسي
prime vertical	ناظم أعظم
principal scale	مقياس رئيسي
projected	مُسْقَط

projected coordinates	إحداثيات مسقطة
projected coordinate reference system: ProjCRS	نظام مرجعي للإحداثيات المسْقَطة
projection	إسقاط أو ارتسام أو تسطيح
projective	إسقاطي
projective transformation	تحويل إسقاطي
propagated	مُنْتَشِر
property	خصيصة (مفرد خصائص)
proprietary	مملوك
pseudoazimuthal projection	إسقاط سمتي زائف
pseudoconical projection	إسقاط مخروطي زائف
pseudocylindrical projection	إسقاط أسطواني زائف
puck	مؤشِّر

Q

quasi-geoid	شبه جيوئيد

R

radian: rad	راديان
radio detection and ranging: RADAR	رادار
radiometer	مقياس إشعاع
radius of curvature	نصف قطر الانحناء
raster	متسامِت
raster data	بيانات متسامِتة
Real Time Kinematic: RTK	رصد متحرك في الوقت الحقيقي
realization	تحقيق
receiver	مُستقبِل
reduced latitude	زاوية عرض مختصرة
reference point	نقطة مرجعية
reflection	انعكاس
registry	سجلّ
relative or internal positional accuracy	دقة موقعية نسبية أو داخلية
remote sensing: RS	استشعار عن بعد
resampling	أخذ العينات
residual or residual error	خطأ متبقٍ
return on investment: ROI	عائد على الاستثمار
root-mean-square error: RMSE	خطأ متوسط التربيع
rotation	تدوير

rotation parameters	وسطاء الدوران
rubbersheeting	تصفيح مطاطي

S

satellite	قمر اصطناعي
satellite laser ranging: SLR	سبر الأقمار الاصطناعية بالليزر
scale factor	عامل الحجم (بين مجسَّمين)
scale factor: SF	عامل المقياس (في الخريطة)
scanned	ممسوح (ناتج من عملية مسح)
scanning	مسح
sea surface height: SSH	ارتفاع سطح البحر
sea surface topography: SST	طوبوغرافية سطح البحر
secant	قاطع
second	ثانية
service-level agreement: SLA	اتفاقية مستوى الخدمة
seven-parameter method	طريقة الوسطاء السبعة
sexagesimal	ستُّوني
shearing	انحراف
sidecar file	ملف مُرافق
similarity transformation	تحويل التشابه
simple average	متوسّط بسيط
small scale	مقياس صغير
smart phone	هاتف ذكي
snap	وثب
source	مصدر
source code	شفرة مصدرية
spatial	مكاني
spatial accuracy	دقة مكانية
spatial data infrastructure: SDI	البنية التحتية للبيانات المكانية
spatial decision support systems: SDSS	نظام دعم القرار المكاني
spatial or geospatial data	بيانات مكانية أو جيومكانية
spatial reference system identifier: SRID	مُعرّف النظام المرجعي المكاني
spatial referencing	إسناد مكاني
spatial technologies	تقنيات مكانية
spatially enabled	ممكّن مكانياً
spectral signature	توقيع طيفي
sphere	كرة

spheroid	مجسّم كروي
spot heights	نقاط الارتفاعات المدققة
standard deviation: σ	انحراف معياري
standard line	خط قياسي
standard parallel	مواز قياسي
station or control point	محطة أو نقطة تحكم
status bar	شريط الحالة
stereographic projection	إسقاط مجسّم
stilling well	بئر ترقيد
surface reconstruction	إعادة إنشاء السطح
surveying	مساحة
system	نظام

T

tab	لسان التبويب
tablets	جهاز لوحي
tangent	مماس
target	هدف
tectonic plate	صفيحة قارية
temporal	زماني
temporal coordinate reference system	نظام مرجعي للإحداثيات الزمانية
ten-parameter method	طريقة الوسطاء العشرة
terrestrial reference frame: TRF	إطار مرجعي أرضي
text markup language	لغة ترميز نصّية
thematic map	خريطة موضوعية
theodolite	تيودوليت أو مِزواة
three-parameter method	طريقة الوسطاء الثلاثة
tidal gauge or marigraph	مقياس المد والجزر
tile	قطعة مربعة
topographic	طوبوغرافي
topographic surface	سطح طوبوغرافي
topographic surveying	مساحة طوبوغرافية
transformer	محوِّل
translation	انتقال، إزاحة
translation parameters	وسطاء الانتقال
transverse	مستعرض
transverse aspect	منظر مستعرض

traverse station	محطة تضليع
triangulation station	محطة تثليث
tri-axial	ثلاثي محاور
true north	شمال حقيقي
true scale	مقياس صحيح
turn-by-turn	توجيهي
turn-by-turn navigation	ملاحة توجيهية

U

ultra-short	فائق القصر
uncertainty	عدم تيقّن
Universal Polar Stereographic: UPS	نظام الإحداثيات المجسّم القطبي العالمي
Universal Transverse Mercator: UTM	ميركاتور المستعرض العالمي
unmanned aerial vehicle: UAV	طائرة بدون طيار

V

vector	مُتَّجِه
vector data	بيانات مُتَّجِهة
velocity	سرعة
vertical	رأسي
vertical coordinate reference system: VertCRS	نظام مرجعي للإحداثيات الرأسية
vertical coordinate system	نظام إحداثيات رأسية
vertical datum	مرجع رأسي
vertical datum separation	فرق المرجع الرأسي
vertical deflection: VD, deflection of vertical -	انحراف الشاقول أو انحراف الرأسي
vertical offset	إزاحة رأسية
very long base-line interferometry: VLBI	تداخل خط الأساس الطويل جداً
viewshed analysis	تحليل الرؤية

W

web coordinate transformation service (WCTS)	خدمة تحويل الإحداثيات على ويب
Web Mercator	ويب ميركاتور
web service	خدمة على ويب
weighted average	متوسّط موزون
well-known binary: WKB	هيئة ثنائية معروفة
well-known text: WKT	نص معروف
wi-fi-based positioning	تحديد المواقع المعتمد على نقاط وصول إنترنت لاسلكية

world file	ملف العالم
world geographic reference system: GEOREF	النظام المرجعي الجغرافي العالمي

Z

zone	منطقة
zoom	تقريب/تبعيد

المراجع

ASPRS. 1990. ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.* March 1990.

ASPRS. 1983. *Manual of Remote Sensing.* [ed.] Robert Colwell. 2nd. 1983. Vol. 2.

Determination of a Gravimetric Geoid Solution for Andalusia (South Spain). **Manzano, Francisco, et al. 2010.** 2, s.l. : Engineering, 2010. 1947-394X.

FGCC. 1984. *Standards and Specifications for Geodetic Control Networks. National Geodetic Survey.* September 1984.

FGDC. 1998. Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. 1998.

EPSG. 2007. WGS 84. *EPSG Geodetic Parameters Registry.* [Online] August 8, 2007. [Cited: December 3, 2011.] http://www.epsg-registry.org/.

Franklin, Carl and Hane, Paula. 1992. An introduction to GIS: linking maps to databases. *Database.* April 1992, Vol. 15, 2, pp. 17-22.

Grant, Donald M. 1999. Spatial Data Infrastructures: The Vision for the Future and the Role of Government in Underpinning Future Land Administration Systems. *The Permanent Committee on Cadastre in the European Union.* October 1999.

ICSM. 2009. Australian Map and Spatial Data Horizontal Accuracy Standard. *Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping.* 2009.

ISO. 2004. Geographic information – Spatial referencing by coordinates. s.l. : ISO, 2004.

NASA. 1998. Tectonic Motion in Europe. NASA, February 26, 1998.

NIMA. 2000. Addendum to NIMA TR 8350.2: Implementation of the World Geodetic System 1984 (WGS 84) Reference Frame G1150. *National Geospatial-Intelligence Agency.* 2000.

Østensen, Olaf. 2001. The Expanding Agenda of Geographic Information Systems. *ISO Bulletin.* July 2001.

Roegel, Denis. 2008. An Extension of Al-Khalili's Qibla Table to the Entire World. *Inria.* August 4, 2008.

Ryttersgard, Jes. 2001. Spatial Data Infrastructure – Developing trends and Challenges. *UN Economic Commission for Africa.* September 2001.

Sideris, Michael G. 1994. Geoid Determination by FFT Techniques. Milan : International School for the Determination and Use of the Geoid, 1994.

TeleCommunication Systems. 2010. Location-Based Services: An End-to-End Perspective. 2010.

The Defence Agency. 1983. *Geodesy for The layman.* WASHINGTON D C : The Defence Agency, 1983.

U.S. Bureau of the Budget. 1947. United States National Map Accuracy Standards. *The National Map.* June 17, 1947.

UN. 1994. United Nations Convention on the Law of the Sea. *United Nations Website.* November 16, 1994.

Wieczorek, John, Guo, Qinghua and Hijmans, Robert J. 2004. The Point-Radius Method for Georeferencing Locality Descriptions and Calculating Associated Uncertainty. *International Journal of Geographical Information Science.* December, 2004, Vol. 18, 4.

Williams, Ed. Aviation Formulary V1.46. [Online] [Cited: August 6, 2012.] http://williams.best.vwh.net/avform.htm.

الفهرس

ب

ت

ث

ج

ح

خ

د

ذ

ر

ز

س

ش

ص

ض

ط

ع

Index

B

C

D

F

G

H

I

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

X

Y

Z

عن المؤلف

- درس العمارة وتخطيط المدن في كلية الهندسة المعمارية بجامعة حلب، وتخرج منها في العام 1994.
- بدأ العمل في الشركات المتخصصة بتقديم خدمات نظام المعلومات الجغرافية (GIS) والمساحة والتصميم بالحاسوب (CAD) منذ العام 1995.
- عمل أخصّائياً لنظام المعلومات الجغرافية مع وكالة التعاون التقني الألمانية (GTZ) في العام 1998، ونفّذ مشروع خريطة الأساس الرقمية الشاملة لمدينة حلب القديمة.
- نشر منذ العام 1999 أكثر من 50 مقالاً عن التقنيات المكانية في المجلات والدوريات المختلفة، منها مجلة PC Magazine — الطبعة العربية.
- طوّر مجموعة من التطبيقات الموجّهة لأتمتة التصميم وزيادة الإنتاجية، وأشرف على وضع المواصفات والإجراءات القياسية ذات الصلة بالتصميم بالحاسوب (CAD) في مجموعة شركات تعمل في قطاع الإنشاءات في الشرق الأوسط.
- أسّس في العام 2000 موقع CAD, GIS, & GPS Magazine، وهو أول موقع عربي على ويب يُعنى بالتقنيات المكانية، وفاز بجوائز محلية وإقليمية ودولية، منها جائزة WSA لأفضل محتوى إلكتروني في دولة الإمارات العربية المتحدة في فئة eScience للعام 2005، وجائزة PAWA الذهبية لأفضل موقع إلكتروني في العالم العربي في فئة المواقع التعليمية للعام 2007. رابط الموقع:

http://www.geospatialtechnology.net

- عمل في بلدية دبي وهيئة الطرق والمواصلات بدبي محللاً رئيسياً لنظام المعلومات الجغرافية بين الأعوام 2000 و2010 وأشرف على إنشاء وصيانة قواعد البيانات الجغرافية المؤسسية وتطوير التطبيقات والحلول المكانية بالإضافة إلى دعم عمليات الأعمال والتحليل واتخاذ القرار باستخدام نظام المعلومات الجغرافية، وأسهم في إدارة وتنفيذ المشروعات وفرق العمل التقنية في الإدارات المختلفة.
- يعمل منذ العام 2010 استشارياً لنظام المعلومات الجغرافية (GIS) والبنية التحتية للبيانات المكانية (SDI) في شركة متخصصة في استشارات وخدمات التقنيات المكانية في منطقة الشرق الأوسط وشمالي أفريقيا، وهو يعمل ضمن فريق عمل برنامج البنية التحتية للبيانات المكانية لإمارة أبوظبي (AD-SDI).

هذا الكتاب

الإحداثيات هي حجر الأساس في جميع العلوم والتقنيات المكانية، إذ تعتمد نتيجة التخطيط والتحليل المكاني بصورة رئيسية على دقة الموقع وصحة الإحداثيات، كما تؤدي الأخطاء والفروق في النظام المرجعي للإحداثيات إلى تضارب البيانات المكانية وصعوبات في محاذاتها.

هذا الكتاب موجّه إلى مستخدم التقنيات المكانية لمساعدته على فهم الأساس النظري والتطبيقات العملية للإحداثيات ويمثل مرجعاً عملياً له للتغلب على مشاكل الإحداثيات ومواءمة البيانات المكانية بحيث يتمكن من إنجاز مهامه اليومية والعمل في المشروعات في مؤسسته بنجاح.

يغطي الكتاب مقدمة عن التقنيات المكانية وأهمية الإحداثيات فيها، ويتناول المواصفات القياسية ذات الصلة بالإحداثيات، والأنظمة المرجعية، بالإضافة إلى الإسقاط والعمليات على الإحداثيات، مثل التحويل بين المراجع الجيوديسية أو بين المراجع الرأسية، ويشرح التطبيقات العملية من خلال مشروعات من الدول العربية باستخدام مجموعة من البرامج والأنظمة الأكثر شيوعاً وانتشاراً وهي ArcGIS و AutoCAD Map و Oracle Spatial و FME Desktop.

Mastering Coordinates:
The Complete Guide for GIS Professionals



ISBN 978-9933-13-239-2





http://www.raypub.com